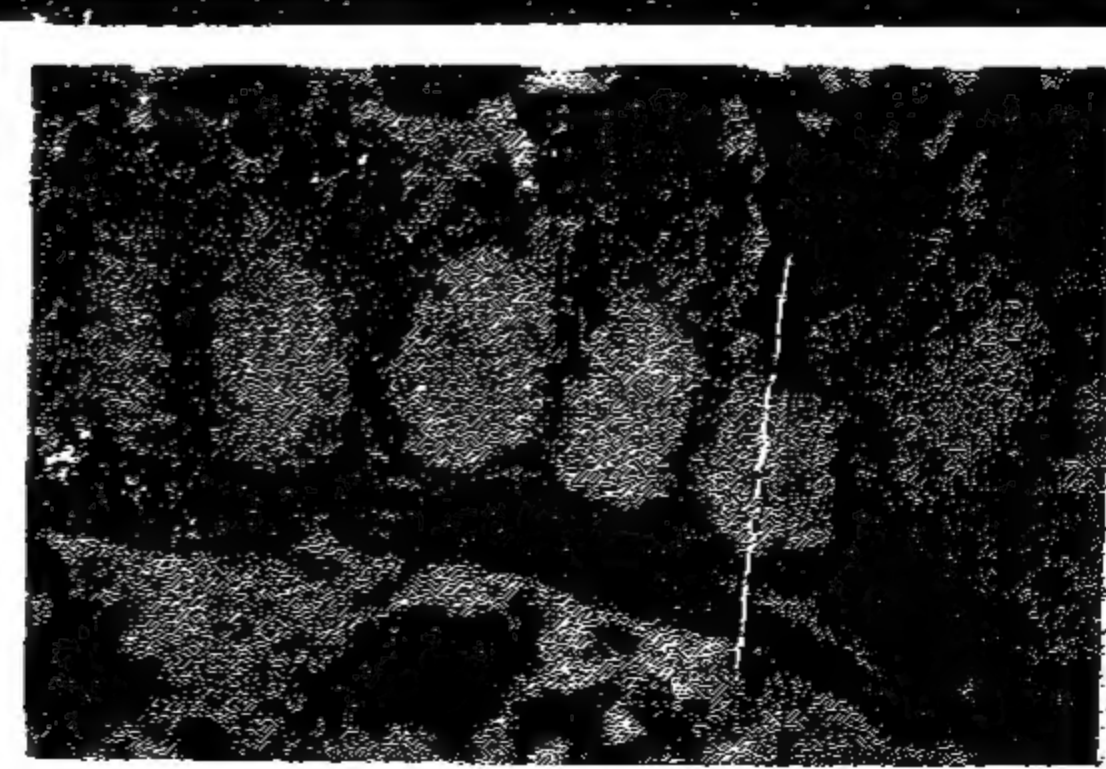
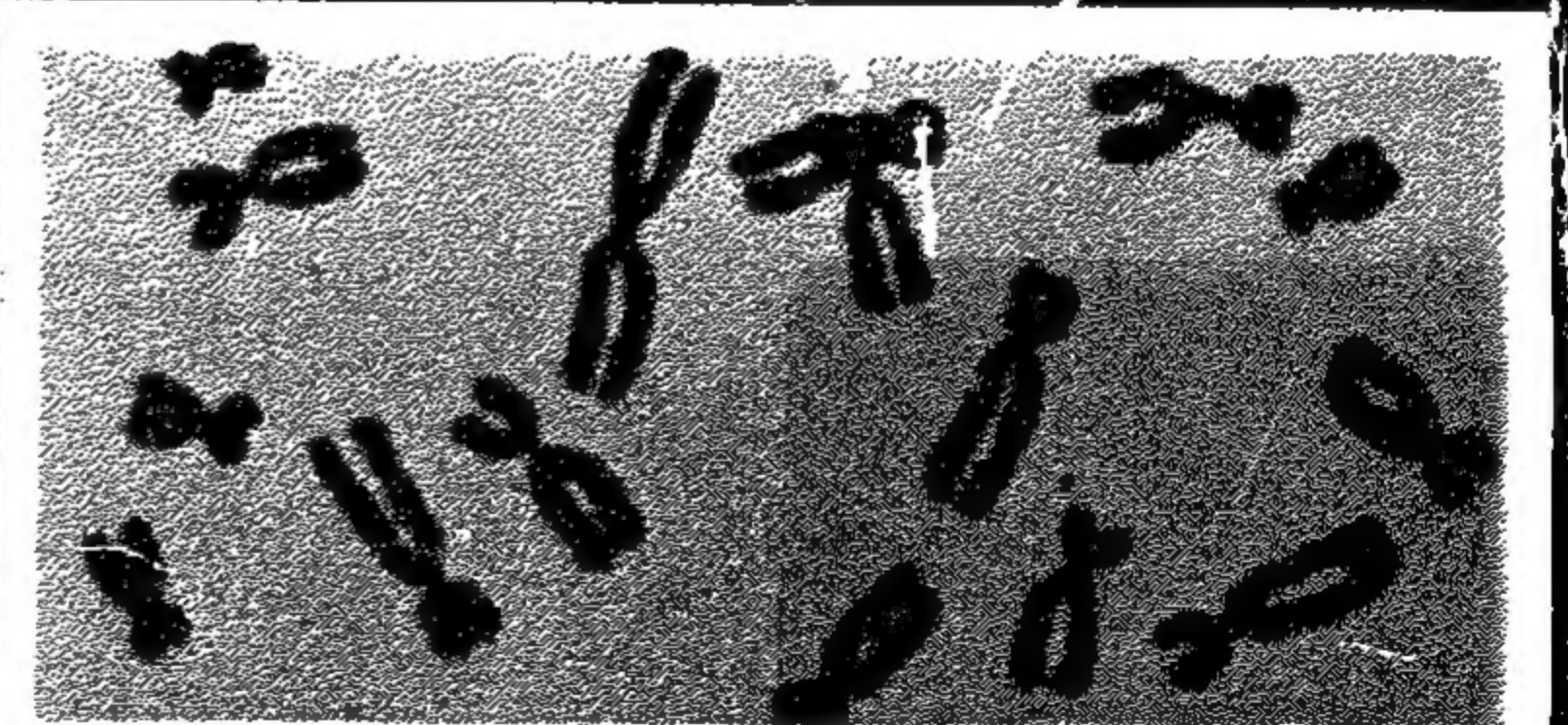
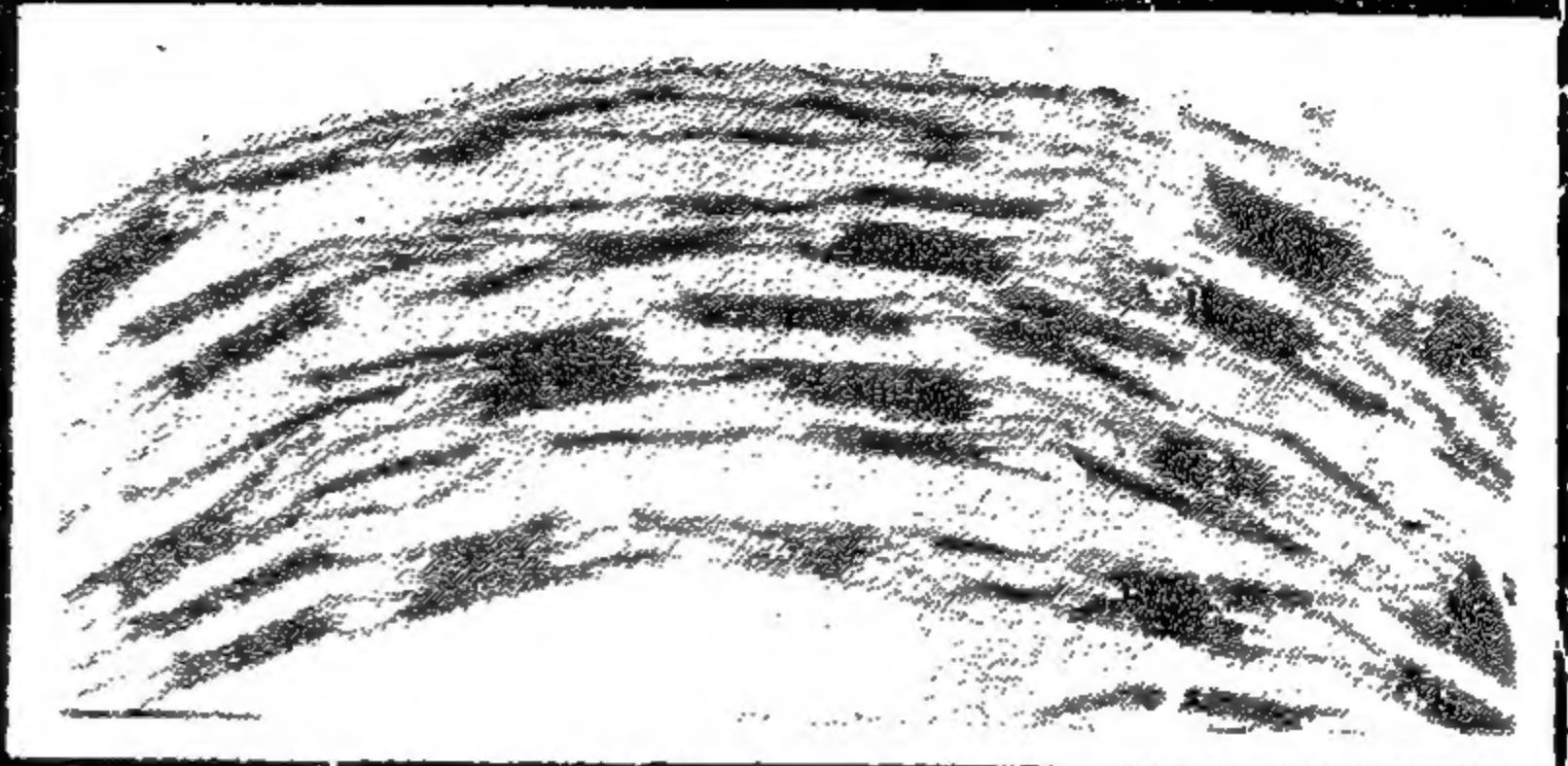
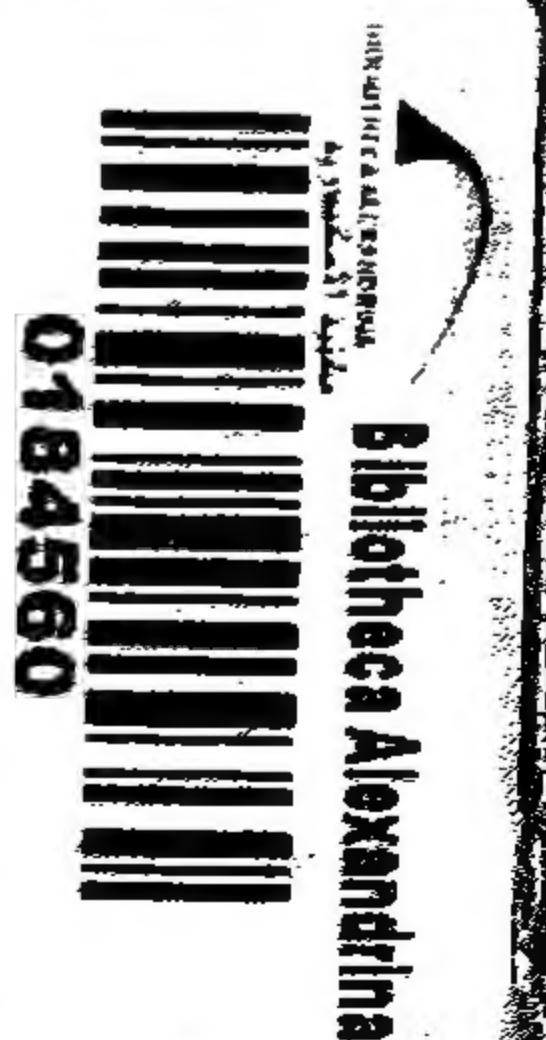


# علم الخلية

الدكتور محمود أحمد البنهاوي  
الدكتور فهمي إبراهيم خطاب  
الدكتور منير علي الجبوري  
الدكتور عبد الفتاح محمود الشرباني



دار المعارف







# علم الخلية

ترجمة

الدكتور / محمود أحمد البنهاوي      الدكتور / فهد إبراهيم قطاب

الدكتور / هدير علي الجنزوري

كلية العلوم - جامعة عين شمس

و

الدكتور / عبد الفتاح محمود الشرشابي

كلية التربية - جامعة القاهرة ( فرع القيوم )

الطبعة الثانية

١٩٩٩



دارالمعارف

هذا الكتاب ترجمة للكتاب الذى قام بتأليفه باللغة الإنجليزية كل من

الأستاذ الدكتور / محمود أحمد البنهاوى

والأستاذ الدكتور / فهمى إبراهيم خطاب

وصدر عن دار المعارف عام ١٩٩٠

تحت عنوان

" THE CELL " Structure and Function

By

EL-BANHAWY and KHATTAB .



## مقدمة الطبعة الثانية

بسم الله الرحمن الرحيم

القارئ العزيز :

يسعد المؤلفين أن يقدموا الطبعة الثانية من هذا الكتاب «الخلية : التركيب والوظيفة»، ويملؤهم الشعور بالامتنان لله سبحانه وتعالى أولاً ولجميع الإخوة والزملاء العاملين في نطاق هذا التخصص على ما قوبلت به الطبعة الأولى من هذا الكتاب من حفاوة وترحيب، ولعلمهم وجدوا فيه بغيتهم من جودة وعمق التعرف بهذا الموضوع الهام من كافة نواحيه – ولعل ذلك كان واضحاً من الطلب الملح على المؤلف منذ نفاذ الطبعة الأولى منه مما دفع المؤلفين إلى العمل على صدور هذه الطبعة لتسد نقصاً ملحوظاً في المكتبة العلمية العربية في هذا المجال من الدراسات .

ويرجو المؤلفون أن تلقى هذه الطبعة ما لقيته سابقتها من حفاوة وترحيب كما يرحبون كل الترحيب بأية ملحوظات أو توجيهات لاشك أنها ستقابل بكل عناية واهتمام.

والله ولي التوفيق . . . .

المؤلفون

يناير ١٩٩٩





بسم الله الرحمن الرحيم

## تقديم كتاب " علم الخلية "

صدر هذا الكتاب عام ١٩٩٠ عن « دار المعارف » فى مصر ( باللغة الإنجليزية ) تأليف  
الأستاذ الدكتور/ محمود أحمد البنهاوى والأستاذ الدكتور / فهمى إبراهيم خطاب من كلية  
العلوم - جامعة عين شمس ، وكان تحت عنوان :

" THE CELL "

Structure and Function

EL- BANHAWY and KHATTAB

وبمجرد ظهور ذلك الكتاب ، لقي بحمد الله وتوفيقه ، تشجيعاً طيباً واستقبالاً حاراً من  
الإخوة والزلاء المهتمين بتلك الموضوعات ، وحدث العديد من الاتصالات بالمؤلفين مبدية الرغبة  
فى إصدار نسخة مترجمة من هذا الكتاب باللغة العربية لتعم الفائدة منه ويكون فى متناول أيدي  
الذين يميلون إلى دراسة تلك العلوم ومتابعتها وسبر أغوارها بلغتنا العربية المألوفة . وقد سارع  
المؤلفان إلى العمل على تحقيق ذلك المطلب الجدير بكل عناية واهتمام وأشركا معهما فى ذلك  
العمل الزميلين الكريمين الأستاذ الدكتور / عبد الفتاح محمود الشرشaby الأستاذ بكلية تربية  
الفيوم وعميدها والأستاذ الدكتور / منير على الجنزورى الأستاذ بكلية العلوم - جامعة عين  
شمس ، وذلك لسرعة الإنجاز وتوسيع رقعة التعاون ، وقد قاما بالإسهام فى ترجمة بعض أجزاء  
من هذا الكتاب ، والمرجو أن تكون قد تحققت الغاية المستهدفة من ذلك .

والواقع أن هذا الكتاب يستحق وقفة خاصة لتفصيله وتوضيحه إلى قراء اللغة العربية  
الكرام بما سبق أن ورد مثيله تقريبا فى تقديم النسخة التى صدرت باللغة الإنجليزية .

هذا الكتاب يتناول مفاهيم علم الخلية ومجالاتها المختلفة منذ اكتشاف الخلية والتعرف  
عليها لأول مرة عام ١٦٦٥ حتى وقتنا الحالى ، وذلك بصورة مركزة ، ولكنها ليست بالكثيفة أو  
المكدسة ، وطريقة مبسطة نسبيا ، ولكنها ليست بالمسطحة أو المتساهلة . وكان الرائد الأساسى  
فى ذلك العمل ، الأصول المبكرة لتلك المعلومات والمفاهيم العلمية ونسبتها إلى أصحاب الفضل  
الأول فى التوصل إليها ثم ما أضافته الأجيال المتعاقبة فى تلك النواحي الهامة .

والواقع أن علوم الخلية - بمفهومها الحديث - قريبة العهد نسبياً بما يمكن القول باطمئنان أنها لم تدخل حيز العلوم البيولوجية كفرع محدد المعلم ، واضح القسمات إلا منذ ما لايزيد عن الخمسين عاماً تقريباً . غير أنها ما كادت تبدأ حتى اندفعت اندفاعاً هائلاً ، وتقدمت - وما زالت تتقدم بخطى سريعة متلاحقة مكتسبة من الأهمية البالغة ما أهلها لأن يطلق عليها « علوم المستقبل » دون أدنى شك . ولعل أبلغ دليل على ذلك ، من خلال الممارسة الحالية ، أنه خلال تلك الفترة القصيرة التي انقضت منذ ظهور النسخة الإنجليزية في العام السابق ( ١٩٩٠ ) توفر لدى مؤلفي الكتاب بعض النواحي بالغة الحداثة قاما بتضمينها في النسخة العربية المعروضة حالياً ، ولعل الفرصة تسنح لتضمينها في النسخة الأجنبية عند إعادة طبعها بعون الله .

ولعله من ضمن الأسباب الرئيسية لذلك الاهتمام البالغ بعلوم الخلية ودراساتها ما أدركه الخاصة والعامة من أن « الخلية » ليست تركيباً يفحص أو موضوعاً يدرس ، إنما هي لبنة الحياة الرئيسية ووحدتها الأساسية بالنسبة لجميع الكائنات الحية على اختلاف أنواعها ومراتبها . فأى كائن منها إنما نشأ في الأصل من خلية واحدة فقط هي ما يسمى « الزيجوت » أو البويضة المخصبة التي تكونت نتيجة اندماج الخلية البويضاتية ( البويضة ) للأم مع الخلية المنوية للأب . ومن هذه البذرة نما الجسم بأكمله . ومن زاوية أخرى ، يمكن القول أن جميع الكائنات الحية ، إما أن تتكون من خلية واحدة فقط تؤدي كل وظائف الحياة المألوفة ومناشطها المعروفة أو من آلاف أو ملايين الخلايا مترتبة بطريقة خاصة ومتناسقة مع بعضها حسب قوانين ونظم محكمة محددة ؛ تقوم كل منها بوظيفة معينة ، وتعمل كلها متعاونة مع بعضها لصالح المجموع ، وهو الجسم كله . فإذا صحت هذه الخلايا وأدت مهامها المنوطة بها بصورة سليمة سوية صلح حال الجسم بأكمله . وإذا مرضت الخلايا واختلت وظائفها مرض الجسم بأكمله . ولعله تجدر الإشارة هنا إلى الحديث الشريف القائل « مثل المؤمنين في توادهم وتراحمهم كمثل الجسد الواحد ، إذا اشتكى منه عضو تداعت له سائر الأعضاء بالسهر والحمى » ، وما يقال عن الأعضاء هنا ينطبق تماماً على الخلايا الجسمية . فعندما أصاب العجز والمرض خلايا البنكرياس أصيب الفرد بمرض « السكري » وإذا اختل نشاط خلايا الغدة النخامية نتج الفرد قزماً أو عملاقاً . وقد تمرض خلية واحدة فقط في الجسم كله متحولة إلى خلية خبيثة أو سرطانية ؛ قد تؤدي إلى إمرض الجسد بأكمله . وعلى ذلك أصبح التعريف الحديث للمرض « أنه خلل يحدث في خلايا معينة ينعكس كحالة مرضية واضحة » . ولعل ذلك ما جعل الخلية مجالاً خصباً للدراسات والبحوث في جميع تلك الحالات .



كذلك تجدر الإشارة هنا إلى أن الخلية هي حاوية العناصر الوراثية التي تتحكم منذ البداية المبكرة في تحديد الخصائص والأنماط الوراثية للفرد بأكمله .

ولامجال للإفاضة أكثر من ذلك ، ركما قال أحد علماء الخلية مؤخرا إن : « كل ما عرفناه حتى الآن عن الخلية أقل بكثير مما يتعين علينا معرفته ، وحين نفهم الخلية فهما كاملاً ستكون عندئذ قد فهمنا الحياة فهما تاما ، ولكن يبدو أن الشوط ما زال بعيداً حتى التوصل إلى ذلك الهدف » .

إن ما يجرى داخل الخلية ، كما ذكر عالم متخصص آخر ، « أمر يحير العقول والأفهام ويدل دلالة قاطعة على أن هناك قوة عظمى هي التي تحكم هذه الأمور وتسيرها وتنظمها » .

ونظراً للدور الخطير الذي لعبته الأجهزة والمعدات الخاصة بالفحوص والدراسات الخلوية ، وما حدث فيها من تطور مذهل ، فإن القارئ العزيز سيلحظ بسهولة أن الكتاب متضمن لأكثر قدر مستطاع من المعلومات عن هذه الأجهزة والمعدات وصورها وبيان أهميتها بدءاً من ميكروسكوب « روبرت هوك » الذي اكتشف به الخلية لأول مرة حتى أحدث الميكروسكوبات الإلكترونية التي لم يكد يمضى على تصميمها أكثر من عامين أو ثلاثة .

القارئ الكريم ، لعل هذا الجهد المتواضع - ولكنه غير السهل - يكون قد أسهم - بقدر ما - في توفير تلك المعلومات في المكتبة العربية ، ولعله يلقي التوفيق والقبول ولاشك أن أية ملاحظات أو تعليقات ستلقى كل تقدير وإهتمام .

شكراً جزيلاً لكل من له فضل صغير أو كبير في الحث على القيام بهذا العمل وظهوره إلى حيز الوجود ، جزى الله الجمع خير الجزاء .

﴿وقل أعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون﴾

﴿صدق الله العظيم﴾

القاهرة في سبتمبر ١٩٩١





## محتويات الكتاب

### الصفحة

تقديم ..... ٥

### الفصل الأول

مقدمة ..... ٢١

لمحة تاريخية عن علم الخلية ..... ٢٢

العلاقة بين علم الخلية وفروع العلوم البيولوجية الأخرى ..... ٢٦

### الفصل الثاني

الأجهزة والطرق المستخدمة في دراسة الخلية ..... ٢٩

الميكروسكوب الضوئي ..... ٢٩

ميكروسكوب التباين ..... ٢٩

ميكروسكوب التداخل ..... ٣٠

ميكروسكوب الأشعة فوق البنفسجية ..... ٣٠

الميكروسكوب الإلكتروني ..... ٣٢

الميكروسكوب الإلكتروني الماسح ..... ٣٤

ميكروسكوب الضوء المستقطب ..... ٣٥

جهاز التشريح الميكروسكوبي ..... ٣٥

طرق دراسة الخلية ..... ٣٦

فحص الخلايا الحية ..... ٣٦

الفحص الحيوي وفوق الحيوي ..... ٣٦

المثبتات المستخدمة في بيولوجيا الخلية ..... ٣٧

الفورمالين (الفورمالد هايد) ..... ٣٧

الكحول والأسيتون ..... ٣٩

الأيونات والمركبات المعدنية ..... ٣٩

الكروم ..... ٣٩

## الصفحة

الزئبق ..... ٣٩

الأوزميوم ..... ٤١

## الفصل الثالث

البروتوبلازم ..... ٤٣

التركيب الكيميائي للبروتوبلازم ..... ٤٣

البروتينات ..... ٤٤

المواد الكربوهيدراتية ..... ٤٨

الأحماض النووية ..... ٥١

الليبيدات ..... ٥٣

المكونات غير العضوية في الخلايا ..... ٥٧

الماء ..... ٥٨

الخصائص الطبيعية (الفيزيكية) للبروتوبلازم ..... ٥٩

## الفصل الرابع

التركيب العام للخلية الحيوانية ..... ٦٣

السيتوبلازم ..... ٦٤

النواة ..... ٦٥

## الفصل الخامس

غشاء البلازما ..... ٦٧

تركيب الغشاء الخلوي (البلازمي) ..... ٦٨

النموذج الفسيفسائي (الموزايكو السائل) ..... ٧٠

التركيب الكيماوي لغشاء البلازما ..... ٧١

تحورات غشاء الخلية ..... ٧٤

أغلفة غشاء البلازما ..... ٧٧

الأهمية الوظيفية لغشاء البلازما ..... ٧٩



## الصفحة

ميكانيكية (آلية) النفاذية ..... ٨٠

أهمية نفاذية غشاء الخلية ..... ٨٢

## الفصل السادس

السيتوبلازم الأساس ..... ٨٣

الإرجاستوبلازم ..... ٨٣

الشبكة الإندوبلازمية ..... ٨٣

أنواع الشبكة الإندوبلازمية ..... ٨٥

العلاقة بين الشبكة الإندوبلازمية والغشاء النووي ..... ٨٧

أهمية الشبكة الإندوبلازمية ..... ٨٨

الريبوسومات ..... ٨٩

الميكروسومات ..... ٩١

## الفصل السابع

الميتوكوندريا ..... ٩٣

اكتشافها وتعريفها ..... ٩٣

توضيح الميتوكوندريا ..... ٩٤

عدم تجانس الميتوكوندريا ..... ٩٦

التركيب الدقيق للميتوكوندريا ..... ٩٧

سلوك الميتوكوندريا ..... ١٠١

التركيب الكيماوي للميتوكوندريا ووظائفها ..... ١٠٢

منشأ (أصل أو مصدر) الميتوكوندريا ..... ١٠٦

التغيرات المرضية ..... ١٠٧

## الفصل الثامن

جهاز جولجي ..... ١١١

اكتشافه والتعرف عليه ..... ١١١

## الصفحة

التركيب .....	١١٢
التركيب الدقيق .....	١١٤
الشكل العام والحجم والتوزيع .....	١١٥
التركيب الكيماوى .....	١١٨
توضيح جهاز جولجى .....	١١٩
نمو جهاز جولجى .....	١٢٠
وظائف جهاز جولجى .....	١٢١
التغيرات المرضية لجهاز جولجى .....	١٢٨
المجاذلات المتعلقة بجهاز جولجى .....	١٣٠
١ - اللبيدات - جهاز جولجى أو «نظرية التجاوىف» .....	١٣٠
٢ - جهاز جولجى والميتوكوندريا .....	١٣٢
٣ - جهاز جولجى وأجسام نسل .....	١٣٥
٤ - جهاز جولجى وقنوات هولمجران .....	١٣٥
أدلة أخرى على حقيقة جهاز جولجى .....	١٣٥
<b>الفصل التاسع</b>	
الليزوسومات والبىروكسيسومات .....	١٣٧
الليزوسومات .....	١٣٧
اكتشافها والتعرف عليها .....	١٣٧
الكشف عن الليزوسومات .....	١٣٨
التوزيع والحجم .....	١٤٠
طرز الليزوسومات .....	١٤٠
الأهمية الوظيفية لليزوسومات .....	١٤٤
التغيرات الفسيولوجية والمرضية .....	١٤٤
البىروكسيسومات .....	١٤٦
منشأ البىروكسيسومات .....	١٤٦
النشاط الوظيفى للبىروكسيسومات .....	١٤٦

## الفصل العاشر

أجسام نسل .....	١٤٧
اكتشافها وتعريفها فى البداية .....	١٤٧
توضيح أجسام نسل .....	١٤٧
الأهمية الفسيولوجية والاستجابة للمؤثرات المختلفة .....	١٤٨

## الفصل الحادى عشر

الجسم المركزى .....	١٥١
موقعه فى الخلية .....	١٥١
التركيب .....	١٥١
التركيب الدقيق للحبيبة المركزية .....	١٥٢
الحبيبات المركزية والأهداب والأسواط .....	١٥٤
الحبيبات المركزية وجهاز الانقسام غير المباشر .....	١٥٥

## الفصل الثانى عشر

التراكيب الليفية .....	١٦١
اللييفات العصبية .....	١٦١
اكتشافها والتعرف عليها .....	١٦١
التركيب بالمجهر الإلكتروني .....	١٦٣
المراحل التكوينية للييفات العصبية .....	١٦٣
أهمية اللييفات العصبية .....	١٦٤
التغيرات المرضية فى اللييفات العصبية .....	١٦٤
اللييفات العضلية .....	١٦٥
التركيب .....	١٦٥
التركيب الدقيق للييفات العضلية .....	١٦٧
ميكانيكية الانقباض العضلى على أساس فعاليات الخيطيات	
العضلية .....	١٦٩



## الصفحة

التركيب البروتيني للييفات العضلية .....	١٦٩
الشبكة الإندوبلازمية .....	١٧٠
وظيفة الشبكة الإندوبلازمية العضلية .....	١٧١

## الفصل الثالث عشر

الخلية النباتية .....	١٧٣
التركيب الدقيق للخلية النباتية .....	١٧٦
غشاء الخلية .....	١٧٦
جدر الخلايا .....	١٧٨
مادة السيتوبلازم والشبكة الإندوبلازمية .....	١٨١
جهاز جولجي .....	١٨٢
الميتوكوندريا .....	١٨٢
البلاستيدات .....	١٨٤
نشأة وتكوين البلاستيدات .....	١٨٤
أنواع البلاستيدات .....	١٨٥
تركيب الكلوروبلاستيدات .....	١٨٦
وظيفة البلاستيدات الخضراء .....	١٨٨

## الفصل الرابع عشر

النواة البينية .....	١٩١
شكل النواة .....	١٩١
حجم النواة .....	١٩٢
تمركز النواة .....	١٩٢
تركيب النواة .....	١٩٣
النواة الحية .....	١٩٣
الأنوية المثبتة .....	١٩٣
الغشاء النووي .....	١٩٣

## الصفحة

النويات .....	١٩٥
الكاربوليمف .....	١٩٧
الكروماتين .....	١٩٧

## الفصل الخامس عشر

الكروموسومات .....	١٩٩
اكتشافها وتعريفاتها .....	١٩٩
استمرارية الكروموسومات .....	١٩٩
الكاريوتيب أو الثوابت أو النموذج الكروموسومى .....	٢٠٤
التركيب الداخلى للكروموسومات .....	٢٠٦
الكروموسومات العملاقة .....	٢١١
الكروموسومات عديدة التضام .....	٢١٢
طبيعة الكروماتين فى الكروموسومات البوليتينية .....	٢١٦
الكروموسومات الفرشائية (فرشاة المصباح) .....	٢١٧

## الفصل السادس عشر

التركيب الكيميائى والجزيئى للنواة .....	٢١٩
دراسة كيمياء نواة الخلية .....	٢١٩
١ - حامض دى أكسى ريبوكليك (ح د ن) .....	٢٢٠
استنساخ أو ازدواج (ح د ن) .....	٢٢٢
ازدواج الكروموسوم و (ح ر ن) .....	٢٢٦
٢ - حامض الريبونيكليك (ح ر ن) .....	٢٢٧
الأنواع الأساسية لحامض الريبونيكليك .....	٢٢٨
أ - حامض الريبونيكليك الريبوسومى .....	٢٢٨
ب - حامض الريبونيكليك الرسول .....	٢٢٨
ج - حامض الريبونيكليك الناقل .....	٢٢٨

## الصفحة

تمثيل البروتين (تكوين البروتين)	٢٢٩
٣ - البروتينات القاعدية	٢٣٢
٤ - البروتينات اللاهستونية	٢٣٢
الإنزيمات النووية	٢٣٣
٥ - بعض المكونات الأخرى	٢٣٣
النوية	٢٣٤
تركيبها وكيميائيتها	٢٣٤
التركيب الدقيق	٢٣٤
دورة النوية أثناء انقسام الخلية	٢٣٤
فصل النوية	٢٣٥
وظائف النوية	٢٣٥

## الفصل السابع عشر

انقسام الخلية	٢٣٧
الانقسام غير المباشر أو الميتوزى	٢٣٧
تعليق على الانقسام الميتوزى	٢٤٢
الانقسام المباشر (اللاميتوزى)	٢٤٣
الانقسام الميوزى	٢٤٣
الانقسام الميوزى الأول	٢٤٤
الانقسام الميوزى الثانى	٢٥١
تعليق على الانقسام الميوزى	٢٥٢

## الفصل الثامن عشر

الكروموسومات والوراثة	٢٥٣
الوراثة السيتولوجية	٢٥٣
الوراثة المنديلية	٢٥٣
قانون مندل الأول	٢٥٤



## الصفحة

قانون مندل الثانى .....	٢٥٦
الارتباط .....	٢٥٩
العبور .....	٢٥٩
الغيرات التركيبية للكروموسومات .....	٢٦٦
التغيرات فى الأعداد الكروموسومية .....	٢٦٧

## الفصل التاسع عشر

الكروموسومات وتعيين الجنس .....	٢٦٩
نظام تحديد الجنس .....	٢٧٠
١ - تحديد الجنس بواسطة التوازن الجنينى بين ( كروموسوم X )	
والكروموسومات الجسمية .....	٢٧٠
٢ - تحديد الجنس بواسطة العمل المتبادل بين X و Y	
(كروموسوم Y ) .....	٢٧٣
٣ - تحديد الجنس فى الأفراد أحادية العدد فى الأفراد الناتجة من	
التوالد البكرى .....	٢٧٤
٤ - تحديد الجنس عن طريق الفعل المختلف لزوج واحد من	
الجينات .....	٢٧٥
٥ - تحديد الجنس تحت تأثير البيئة .....	٢٧٦
الخنوثة وانقلاب الجنس .....	٢٧٧
العقم الهجين والانقسام الميوزى .....	٢٧٨
الكروموسومات والتطور .....	٢٧٨

## الفصل العشرون

الحركات الخلوية .....	٢٨٣
١ - الحركة السيتوبلازمية التموجية أو الدوران الخلوى .....	٢٨٣
٢ - الحركة الأميبية .....	٢٨٥
٣ - الحركة الهدبية .....	٢٨٧
٤ - الحركة العضلية .....	٢٨٨

## الفصل الواحد والعشرون

النفاذية .....	٢٨٩
الضغط الأزموزي والنفاذية .....	٢٨٩
تنظيم الضغط الأزموزي .....	٢٩٠
طرق تعيين نفاذية الخلية .....	٢٩١
١ - البلازمة .....	٢٩١
٢ - بلازمة الدم .....	٢٩١
٣ - النظائر المشعة النشطة .....	٢٩١
٤ - الانتشار والانتقال النشط .....	٢٩١
قانون فانت هوف ماريوت .....	٢٩٦
نفاذية الأيونات (قانون رونان للتوازن) .....	٢٩٧
اختراق المواد الصلبة والسائلة .....	٣٠١
الابتلاع أو البلعمة .....	٣٠١
الارتشاف .....	٣٠٢
الارتشاف الدقيق أو الارتشاف الشفطي أو الإدمصاص .....	٣٠٣
الطرد الحلوى .....	٣٠٣

## الفصل الثاني والعشرين

الإنزيمات الخلوية .....	٣٠٥
التنفس الخلوى .....	٣٠٩
التنفس اللاهوائى .....	٣٠٩
التنفس الهوائى .....	٣١٢
السلسلة التنفسية .....	٣١٤
فسفرة التأكسد .....	٣١٥

## الفصل الثالث والعشرون

الإفراز الخلوى .....	٣١٩
الدورة الإفرازية .....	٣١٩

## الصفحة

طرق دراسة الدورة الإفرازية	٣٢١
مصدر مادة الإفراز	٣٢٤
أهمية حبيبات الإفراز	٣٢٧

## الفصل الرابع والعشرون

شيخوخة وموت الخلايا	٣٣١
تغيرات الشيخوخة	٣٣٢
أسباب الشيخوخة	٣٣٤
موت الخلايا	٣٣٦
تغيرات الخلايا بعد موتها	٣٣٧
المراجع	٣٣٩





# الفصل الأول

## مقدمة

يمكن تعريف علم الخلية (Cytology) أو بيولوجية الخلية (Cell biology) بأنه العلم الذى يتناول النظام التركيبى والوظيفى لمادة البروتوبلازم، وعلاقة ذلك بالأنشطة الحيوية المختلفة بما فى ذلك نمو الخلايا وتميزها والوراثة والتطور وغيرها. وبعبارة أخرى، فإن علم الخلية هو أحد أفرع العلوم البيولوجية التى تختص بدراسة تركيب الخلايا وكيميائيتها ووظائفها. أى أن هذا العلم يتناول بالتفصيل دراسة الخلايا ومحتوياتها وما يدور بداخلها من العمليات الحيوية المختلفة. فالخلية هى الوحدة التركيبية والوحدة الوظيفية فى الكائنات الحية. وقد درج علماء البيولوجيا فى العصور السابقة على اعتبار أن كلا من النباتات والحيوانات يتكون من وحدات تركيبية قليلة تتكرر فى كل نوع من هذه الأنواع. وكانوا فى ذلك يأخذون فى اعتبارهم التراكيب الأساسية (غير الميكروسكوبية) للكائنات الحية كالجذور والأوراق والزهور فى النباتات والعقل أو الأعضاء المألوفة فى الحيوانات.

وبعد اختراع المجهر فى عام ١٥٩١ تمكن العلماء بواسطته عام ١٦٦٥ من رؤية وحدات دقيقة جدا لا ترى بالعين المجردة وقد أطلقوا عليها اسم الخلايا. واعتبرت الخلايا هى الوحدات الأساسية للمادة الحية. ويعتبر اكتشاف الخلية أمرا بالغ الأهمية وذلك لأننا نعيش الآن فى الحقبة التحليلية للعلم. وعلى ذلك فقد أصبح من الضرورى تحليل الأنشطة الحيوية، أى فصلها إلى عناصرها الرئيسية حتى يمكن التعرف على التحولات الكيميائية وتحولات الطاقة التى يطلق عليها بصورة عامة ظاهرة الحياة.

وقد كان لظهور ميكروسكوب التباين (Phase contrast microscope) الفضل فى التعرف على التنظيم العضوى للخلية، ليس فقط كما يبدو فى الخلية الميتة المثبتة، بل أيضا كما يظهر فى الخلية الحية.

وفى السنوات الأخيرة كان لتقدم وسائل التقنية الخلوية واستخدام الطرق الحديثة (مثل أجهزة X والضوء المستقطب وكلا من الميكروسكوبين الفلورىسى أو الفلورى، والألكترونى) أثر كبير فى تغيير مفهومنا عن تركيب الخلية وتنظيمها العضوى، كما ساعد استخدام الكيمياء الحيوية على التعرف على نواتج المواد الحية، بل حتى على عناصرها الرئيسية مثل ح د ن (DNA)، ح ر ن (RNA) والبروتينات

وغيرها. وبذلك أمكن التعرف بدقة أكثر على تراكيب في مستوى الجزيئات الكبيرة ، ونشأ عن ذلك فرع جديد في العلم أطلق عليه البيولوجيا الجزيئية (Molecular biology) مجاله دراسة اشكال الجزيئات وتركيبها وتجميعاتها وترتيبها في المكونات الأساسية للخلايا. وقد ازدهر هذا العلم ازدهارا كبيرا خلال الأعوام الأخيرة .

وعلى الرغم من معرفتنا الواسعة بمورفولوجية الخلايا وتركيبها ووظائفها ، إلا أنه لا يزال هناك سؤال لم يجد بعد الاجابة الملائمة ألا هو : هل جميع العمليات الحيوية في الخلية ذات طبيعة فيزيائية كيميائية (ميكانيكية) بحتة ، أم أن هناك قوة معينة هي التي تعمل على تنظيم تلك العمليات الحيوية ؟ - إن الأدوات المتوفرة حاليا للدراسة في هذا المجال بعضها فيزيائي وبعضها كيميائي ، هذا علاوة على النواحي التجريبية المختلفة ، ومع ذلك فليس أمامنا إلا أن نوافق جودارد (Goddard) على رأيه الذي نادى به ١٩٥٨ وهو أنه " إذا تسير لنا أن نفهم الخلية فهما حقيقيا ونفهم أسرارها فإننا عندئذ قد نهتطيع فهم الحياة ذاتها " .

## لمحة تاريخية عن علم الخلية

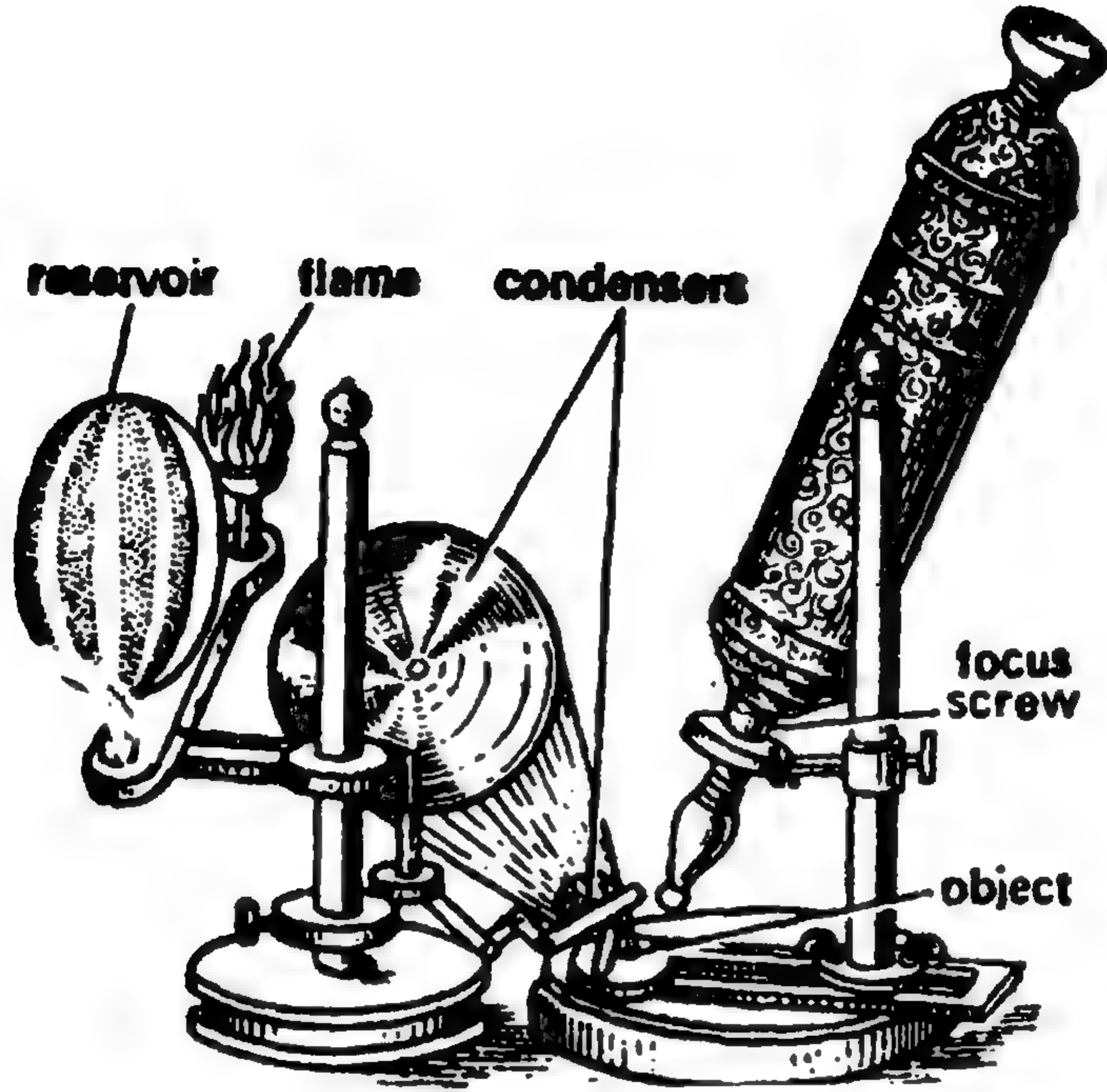
### History of Cytology

اكتشاف الخلية ( Discovery of the Cell ) والنظرية الخلوية ( Cell Theory )

لقد كانت معلوماتنا عن علمي الحيوان والنبات حتى القرن السابع عشر قاصرة على التراكيب التي يسكن رؤيتها بالعين المجردة ، فلما اخترع المجهر (الميكروسكوب ) في أواخر القرن السادس عشر تمكن العلماء بواسطته من معرفة الكثير عن دقائق تركيب تلك الكائنات ، ففي عام ١٦٦٥ وجد روبرت هوك ( Robert Hooke ) أثناء فحصه لقطاع رقيق من الفلين تحت المجهر ( شكل ١ ) أنه يتكون من حجرات صغيرة جوفاء أطلق عليها اسم الخلايا ( Cells ) لشبهها بخلايا الرهبان في الأديرة أو خلايا نحل العسل . وكان روبرت هوك هو أول من استخدم لفظ خلية في علم الحياة . ولقد استرعى نظر هوك في تلك الخلايا أنها محاطة بجدر واضحة ولكنه لم يتبين وجود مسادة حية في داخلها . وظل جدار الخلية ( Cell wall ) معتبرا أهم مكونات الخلية النباتية حتى أوائل القرن التاسع عشر حيث استرعت محتويات الخلية نظر عدد كبير من العلماء وقد وصفها معظمهم على أنها عصارة هلامية (جيلاتينية ) . وفي هذه العصارة اكتشف روبرت براون Robert Brown ( Brown ) النواة (nucleus) عام ١٨٣١ . وبينما يعزى اكتشاف النواة عادة إلى بروبرت



براون إلا أن الحقيقة خلاف ذلك . فالتواة قد سبق مشاهدتها فى كرات الدم الحمراء فى سمك السالمون بواسطة ليفنهوك (Lieuwenhoek) عام ١٧٠٠ . كما شاهدها فونتانا (Fontana) عام ١٧٨١ فى خلايا بعض الأنسجة .



شكل (١) ميكروسكوب " روبرت هوك "

وفى عام ١٨٣٨ أوضح عالم النبات الألمانى شلايدن (Schleiden) أن الخلايا هى الوحدات التركيبية للنبات ، وبعبارة أخرى فإن شلايدن هو أول من أشار إلى أن جميع الأنسجة النباتية تتكون من خلايا ، أى أن الخلية هى وحدة تركيب النبات . وقد توصل عالم الحيوان الألمانى شفان (Schwann) فى عام ١٨٣٩ إلى نفس النتيجة بالنسبة للحيوان . ولقد كان شفان أول من استخدم عبارة النظرية الخلوية (Cell Theory) وكان يقصد بذلك أن " الخلايا عبارة عن كائنات ، وأن الحيوانات والنباتات ما هى إلا تجمعات من تلك الكائنات مرتبة وفقا لقوانين معينة " .

وبعبارة أخرى ، يرى شلايدن وشقان أن جميع الكائنات الحية حيوانية كانت أم نباتية تتتركب أجسامها من خلايا ، ومع أن هذه النظرية ترتبط دائما باسمي كلا من شلايدن ، وشقان إلا أن كثيرا من العلماء أمثال ميريل Mirbel ( ١٨٠٨ - ١٨٠٩ ) ، لامارك Lamarck ( ١٨٠٩ ) ، وتيرين Turbin ( ١٨٢٦ ) وماير Meyer ( ١٨٣٠ ) وفون موهل Von Mohl ( ١٨٣١ ) سبق أن توصلوا إلى نفس النظرية الخلوية بصورة أكثر أو أقل اكتمالا .

وفى عام ١٨٣٥ فحص العالم الفرنسى ديجاردن (Dujardin) محتويات الخلايا فى بعض الكائنات الدقيقة مثل الـريزوبودا والفورا مينيفرا ووصفها بأنها مادة جيلاتينية متجانسة شفافة مرنة متقبضة ولا تذوب فى الماء وأطلق على تلك المادة لفظ ساركود (Sarcode) .

وفى عام ١٨٤٠ أطلق بركنجيه (Purkinje) لأول مرة لفظ بروتوبلازم (Protoplasm) على محتويات الخلية الحيوانية . وبعد سنوات ( فى عام ١٨٤٦ ) أقر فون موهل (Von Mohl) بركنجيه على رأيه واستعمل نفس الاسم لمحتويات الخلية النباتية .

ويرجع الفضل إلى العالم الألمانى ماكس شولتز (Max-Schultze) الذى أوضح فى عام ١٨٦١ أوجه التشابه الأساسية بين الساركود والبروتوبلازم فى كل من الخلايا الحيوانية والنباتية وأعلن عن نظرية فى هذا المجال أطلق عليها هيرتويج (Hertwig) فيما بعد (عام ١٨٩٢) نظرية البروتوبلازم (Protoplasm Theory) . ولقد تحقق العلماء من أن البروتوبلازم ( ومعناه المادة الحية الأولية ) هو المكون الأساسى للخلايا فى كل من الحيوان والنبات ، وأن جدار الخلية - بالإضافة إلى كونه ميتا - فإنه يوجد فقط فى الخلايا النباتية بينما لا يوجد فى الخلايا الحيوانية . وبناء على ذلك فقد عرفت الخلية بأنها كتلة من البروتوبلازم ( السيتوبلازم ) تحتوى على نواة ويحيط بها غشاء خلوى رقيق ، وهذا التعريف ، وإن كان أفضل من سابقه الذى يعتبر الخلية " وحدة المادة الحية ، إلا أنه لا يزال قاصرا لعدة أسباب ، إذ قد وجد أن البروتوبلازم فى كثير من الحيوانات الأولية يحتوى على نواتين أو أكثر ، وبالمثل فإن بعض الأنسجة فى الحيوانات الراقية تحتوى خلاياها على نواتين ( مثل الخلايا العصبية فى العقدة العصبية السمبثارية الأمامية فى الأرنب ) أو عدد كثير من الأنوية ( كما هو الحال فى الخلايا العضلية المخططة ) . بالإضافة إلى ذلك فإن بعض الخلايا لا نواة لها كما هو الحال فى

كرات الدم الحمراء تامة النمو فى الثدييات حيث تختفى النواة أثناء عملية تكوينها . وقد تحتوى الخلية على مواد نووية ليس لها شكل ومفهوم النواة المألوفين وذلك فى بعض الحيوانات الأولية . وأخيرا فإن بعض العلماء يرون أن هناك ترابطا بين الخلايا ، ولذلك فليس من المنطق النظر إلى الكائن الحى على أنه يتكون من خلايا متناثرة تتعاون فسيولوجيا ولكنها مستقلة عن بعضها بصورة جوهرية .

ويرى العلماء الآن أن الكائن الحى فرد تسرى فيه حياة عامة ، وأن الخلايا ليست وحدات يبنى منها هذا الكائن ولكنها أجزاء ينقسم إليها هذا الكائن لتضمن توزيع العمل فى عمليات الحياة المعقدة . وبذلك يظل لفظ الخلية اصطلاحا وصفيا نافعا ليدل على أنها " كتلة من البروتوبلازم محاطة بعشاء رقيق وتحتوى على نواة أو أكثر فى أحد أطوار تكوينها على الأقل " .

ولقد كان للنظرية الخلوية فضل كبير فى دفع العلماء إلى مواصلة بحوثهم فتوصلوا إلى اكتشاف انقسام الخلية غير الميتوزى (amitosis) أو المباشر (ريماك "Remak" ، ١٨٤١) والانقسام الميتوزى (mitosis) أو غير المباشر ( شنييدر "Schneider" ، سترسبرجر "Strasburger" ، فلمنج "Flemming" ) ، كما أمكنهم رؤية دخول الحيوان المنوى فى بويضة الضفدعة والذى وصفه نيوبورت (Newport) لأول مرة فى عام ١٨٥٤ ، وتلاه هيرتويج (Hertwig) الذى أوضح فى عام ١٨٧٥ أن نواة الحيوان المنوى تندمج مع نواة البويضة وبذلك استطاع العلماء تفهم قوانين الوراثة .

هذا ، وقد حدث تقدم واسع المدى فى فهم مادة السيتوبلازم وتراكيبها ، وقد اكتشف ألتمان (Altmann) الميتوكوندريا (mitochondria) فى عام ١٨٩٠ ، كما اكتشف كاميللو جولجى (Camillo Golgi) فى عام ١٨٩٨ الشبكة الداخلية التى عرفت فيما بعد باسم جهاز جولجى (Golgi apparatus) . وقد أدت تلك الاكتشافات إلى معلومات قيمة فى فهم الخلية . والواقع أن كلا من الميتوكوندريا وجهاز جولجى تركيبان أساسيان فى جميع خلايا أفراد المملكة الحيوانية .

وبما تجدر الإشارة إليه أن التحسن الذى طرأ على وسائل الفحص والتوضيح للتراكيب الخلوية واستخدام الصبغات الحيوية كان له فضل كبير فى فتح آفاق جديدة واسعة فى بحوث الخلية .



والواقع أن ما تحقق فى هذا المجال كثير جدا ولا مكان لذكره هنا ، ومع هذا فإننا سنتناول فى الأبواب التالية كثيرا من الإنجازات الهامة فى علم الخلية ( سيتولوجى "Cytology" ) .

ولم تشهد الفترة الحديثة تقدما فقط فى التقنيات الخلوية ولكنها شهدت وسائل أخرى أكثر تقدما وتطورا مثل ميكروسكوب التباين (Phase contrast microscope) والميكروسكوب الإلكتروني (electron microscope) واستخدام الضوء المستقطب (Polarized light) وجهاز الطرد المركزي العالى (Ultra-centrifuge) وأجهزة التشريح الخلوية (microdissection apparatus) والاستفادة بالأشعة السينية (X-ray) والأشعة فوق البنفسجية (Ultra-violet light) مع استخدام العديد من المواد الكيماوية . وبذلك انفتح مجال خصب جديد للدراسات العلمية يختص بالخلية من نواحيها المختلفة .

### العلاقة بين علم الخلية وفروع العلم البيولوجية الأخرى

Relations between cytology and other branches of biology

توضح جميع الدراسات الحديثة وجود علاقة وثيقة بين علم الخلية وفروع العلوم البيولوجية الأخرى ، فعلى سبيل المثال ، فإن علم الخلية قوى الارتباط بعلم الوراثة (genetics) الذى يختص أساسا بدراسة العوامل الوراثية المحمولة على الكروموسومات ، وهى إحدى المكونات الرئيسية للنواة . ولذا نشأ عن علمى الوراثة والسيتولوجيا فرع جديد تحت اسم الوراثة السيتولوجية (Cytogenetics) .

كذلك توجد علاقة قوية بين علم الخلية والتصنيف (taxonomy) الذى أصبح يعتمد فى الآونة الأخيرة على عدد الكروموسومات وتباينها فى الأنواع المختلفة . وقد أفاد ذلك كثيرا فى تقدم علم التطور (evolution) . وعلم الخلية قوى الارتباط أيضا بعلم الأجنة (embryology) ووظائف الأعضاء (physiology) والبيئة (ecology) . ولا يقف الأمر عند هذا الحد بل إنه ما دام المرض يعرف على أنه خلل فى الوظائف الحيوية للخلية ، لهذا يتضح جليا أن علم الخلية وثيق الصلة بالمرض والظواهر المرضية . ويكتفى هنا بالإشارة إلى أن دراسات الخلية أصبحت تتضمن نمو الخلايا السرطانية وكذلك تأثيرات البكتريا والفيروسات على الخلايا . ويبدو أن علم الخلية ، كما نادى بذلك شارب (Sharp)



" هو مفتاح العلوم البيولوجية حيث أن أى شئ يقوم به الكائن الحى مرده فى النهاية إلى نشاط معين فى البروتوبلازم . ويعنى ذلك أن جميع النشاط البيولوجية يوجد بها عنصر سيتولوجى . فعلم الخلية إذا جزء مكمل أو أساسى فى العلوم البيولوجية وسيعتمد تقدم العلم فى المستقبل على كيفية المحافظة على هذا التكامل " .

وعندما يتم الحصول على فهم أكثر للمكونات الخلوية والدور الذى تقوم به فى الأنشطة الخلوية سيدخل علم الخلية مرحلة جديدة هامة وهى مرحلة سيتمكن فيها العلماء - عن طريق علم الخلية - من حل الكثير من المشكلات الطبية والزراعية بل والبيولوجية بأكملها .



## الفصل الثانى

### الأجهزة والطرق المستخدمة فى دراسات الخلية

Instruments and Methods in The Field of Cell Biology.

أضاف الربع الأخير من القرن التاسع عشر إلى القرن العشرين الكثير من الاكتشافات الأساسية والنظريات الهامة . ويعتبر القرن الحالى محظوظا لما صاحبه من اكتشاف الكثير من الأجهزة العلمية الدقيقة والمتقدمة ووسائل التقنية الحديثة والمتطورة ، وبذلك أصبحت وسائل فحص التراكيب الدقيقة للخلايا والأنسجة تتم بواسطة أنواع مختلفة من الميكروسكوبات صممت بحيث تعمل على زيادة القوة التحليلية للميكروسكوب وكذلك زيادة الفروق بين معدلات الإتكسار الضوئى للتراكيب الخلوية وبذلك يسهل مشاهدتها والتفريق بينها .

#### الميكروسكوب الضوئى "Light microscopy"

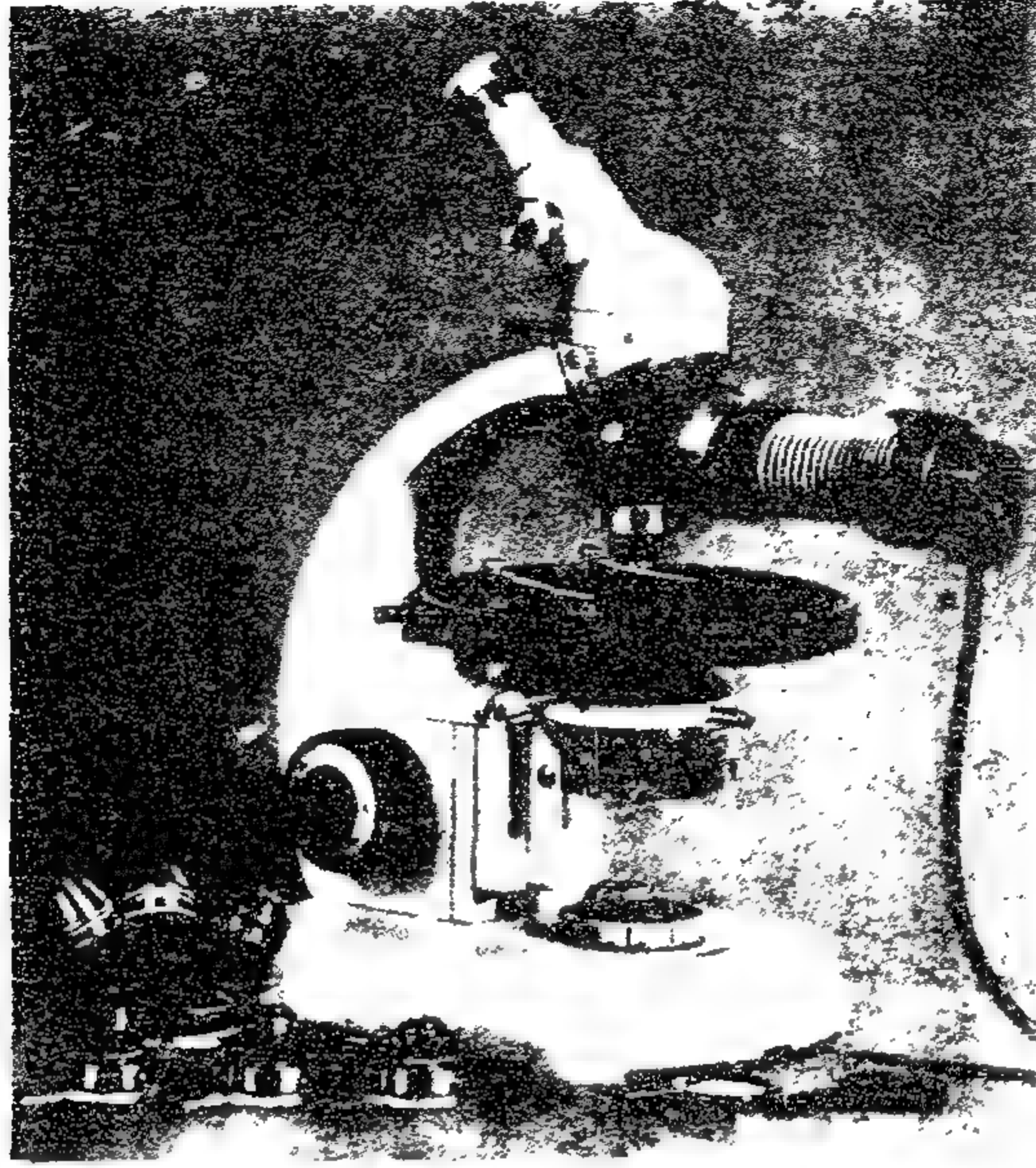
تتدرج الميكروسكوبات الضوئية من الأنواع بسيطة التركيب إلى الأنواع المعقدة . وتعتمد هذه الميكروسكوبات بصورة أساسية ، على استخدام العدسات الزجاجية والضوء المرئى . وتستخدم تلك الميكروسكوبات على نطاق واسع بواسطة الطلاب وفى المعامل البيولوجية ( شكل ٢ ، ٦ ) .

#### ميكروسكوب التباين "Phase contrast microscopy"

يستخدم ميكروسكوب التباين بصورة أساسية لدراسة الخلايا الحية غير المثبتة . وهو يعمل على زيادة الفروق بين معدلات الإتكسار الضوئى للتراكيب الخلوية المختلفة (شكل ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٧) ، وبذلك يمكن مشاهدتها والتفريق بينها بسهولة . ويستخدم هذا المجهر فى فحص الخلايا الحية التى لم تتعرض لتأثير أية عمليات مثل التثبيت والتجفيف ( انتزاع الماء ) والصبغة التى كثيرا ما تؤدى إلى ظهور تغيرات مورفولوجية وكيميائية فى أجزاء الخلية . كما يستخدم لدراسة تأثير بعض العوامل الكيميائية والفيزيائية المختلفة وكذلك للكشف عن التراكيب أو الصور غير الحقيقة التى قد تظهر نتيجة للتثبيت والصبغة .

## ميكروسكوب التداخل "Interference microscopy"

بنيت فكرة كل من ميكروسكوب التباين وميكروسكوب التداخل على أساس أنه على الرغم من أن التراكيب البيولوجية بالغة الشفافية بالنسبة للضوء المرئي إلا أنها تحدث تغيرات تباينية في الإشعاعات النافذة ( شكل ٨ ، ٨ أ ).



( شكل ٨ أ ) ميكروسكوب التداخل Interference Microscope

ويمكن متابعة هذه التغيرات التباينية في معامل الانكسار وكذلك في سمك الأجزاء المختلفة . ويمكن بواسطة ميكروسكوب التداخل تحديد الاختلاف الضوئي التبايني بالنسبة لجميع الأجزاء الخلوية وبذلك يمكن معرفة أوزانها الجافة . بالإضافة إلى ذلك فإنه من الممكن متابعة التغيرات الطفيفة والكبيرة في معامل الانكسار . وعلى ذلك فإن لميكروسكوب التداخل ميزة أساسية وهي إعطاء تحاليل كمية للخلايا الحية وتأثير المواد الكيميائية والعوامل الأخرى عليها .

## ميكروسكوب الأشعة فوق البنفسجية "Ultraviolet microscopy"

تقع منطقة الضوء المرئي في الطيف بين ٦٥٠٠ المجستروم ( الأحمر ) ، ٤٥٠٠ المجستروم ( البنفسجي ) . أما الموجات الضوئية الأقصر من ٤٠٠٠ المجستروم فيطلق عليها فوق البنفسجية ( Ultraviolet ) . وفي هذه المنطقة تمتص بعض مكونات الخلية ، مثل الأحماض النووية ، موجات ذات أطوال معينة : وعلى ذلك

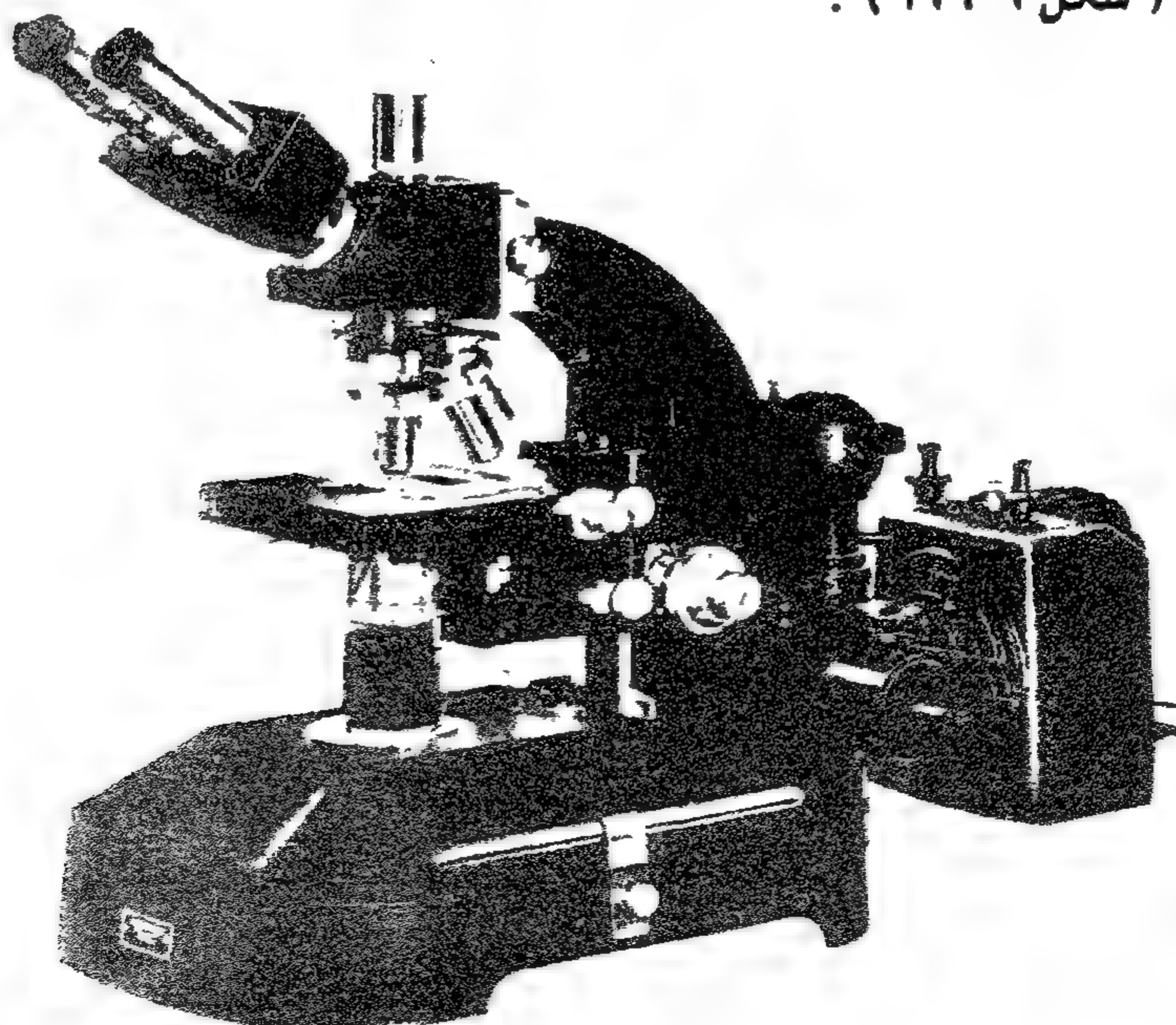


يستخدم هذا النوع من الميكروسكوبات لقياس محتويات الخلية من الأحماض النووية ( شكل ٨ ب ) هذا وقد تم الاستفادة من هذا الميكروسكوب في تصميم جهاز جديد يسمى جهاز " القياس الضوئي الخلوي " - سيتوفوتوميتر (Cytophotometer). ( شكل ١٢ ) مزود بشاشة معينة ويمكن بواسطة تحديد كمية المحتويات الكيميائية ( خاصة الاحماض النووية ) داخل الخلية .

ميكروسكوب الاستقطاب الضوئي ( Polarization microscope ) هذا الميكروسكوب يعطى صوراً ( شكل ١١ )

الميكروسكوب الفلوري ( أو الفلوريسنتى ) "Fluorescent microscope"

لبعض المواد الكيميائية خاصية معينة وهي أنه عند إشعاعها بواسطة الأشعة فوق البنفسجية فإنها تمتص هذا الإشعاع وتصدر ضوءاً مرئياً ، ولذلك نجد في الخلايا الحية أن المحتويات الخلوية التي تمتص هذه المواد الكيميائية يمكن مشاهدتها وهي ( تضيى ) بطريقة معينة أو يصدر عنها هذا الضوء الفلوري عند إضاءتها بواسطة الأشعة فوق البنفسجية . وتتميز هذه الطريقة بدقتها البالغة وتستخدم بصورة خاصة لتوضيح كيفية دخول الجزيئات إلى الخلايا أو ادمصاصها على أسطحها ( شكل ٩ ، ١٩ ) .



( شكل ١٩ ) ميكروسكوب الفلوريسنتى Fluorescent Microscope

## ميكروسكوب الإعتام "Dark field microscopy"

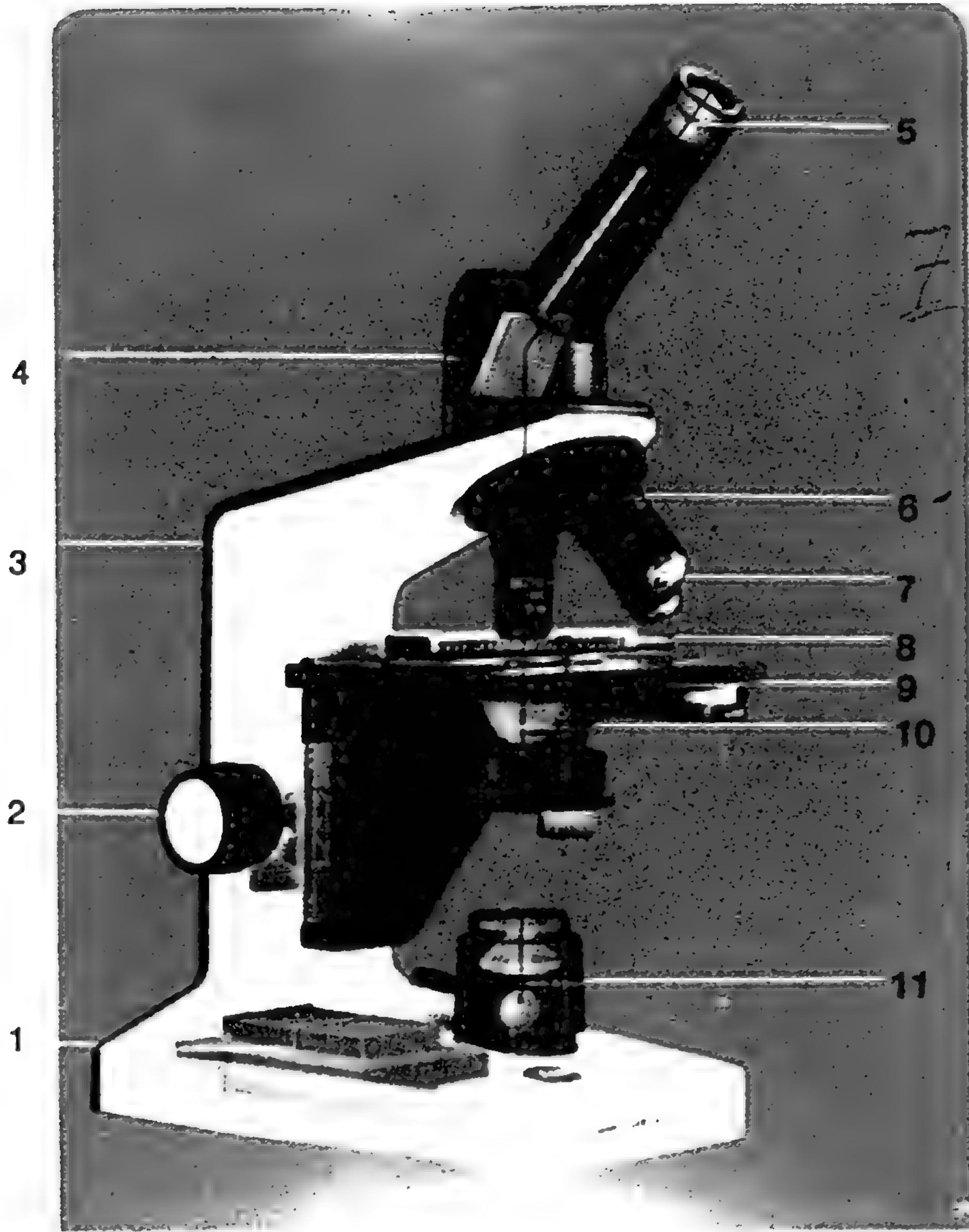
يستخدم هذا الميكروسكوب ( شكل ١٠ ، ١٠ أ ) لدراسة الخلايا الحية . وتعتمد النظرية التي بنى عليها على أن الضوء ينتشر عند حواف الجسيمات الصغيرة التي يكون لها معاملات انكسار ضوئية مختلفة . وهذا الميكروسكوب مزود بمكثف معين يعمل على إضاءة الجسم المراد فحصه بطريقة مائلة وبذلك لا يدخل الضوء المباشر إلى العدسة الشيئية . ونتيجة لذلك تبدو الأجسام الخلوية لامعة نتيجة للتشتت الضوئي عند حوافها ، بينما تكون الأرضية المحيطة بها معتمة وهو يستخدم على نطاق واسع في فحص الدياتومات والرادبولاريا ( المشعات ) والتراكيب المدببة .

## الميكروسكوب الإلكتروني النفاذ "Transmission electron microscopy"

يستعمل الميكروسكوب الإلكتروني TEM ( شكل ١٣ ، ١٤ ، ١٦ ، ١٥ ) لدراسة التركيب الدقيق للمكونات الخلوية ، فالمعروف أن قوة التكبير في الميكروسكوب العادي تعتمد على الشيئية والعينية ، ويمكن الحصول على قوة تكبير ما بين ٥٠٠ ، ١٥٠٠ وذلك تبعاً لقوة كل من العدستين المستخدمتين أما بالنسبة للميكروسكوب الإلكتروني ، حيث تستخدم حزمة من الإلكترونات ذات السرعة الفائقة والتي تتحكم فيها عدسات كهرومغناطيسية ، فإنه يمكن أن يصل إلى درجة عالية من تحليل الأشياء ، وقد تصل قوة التحليل هذه إلى ٥ المجستروم ( شكل ١٥ ) .

وقد بات من اليسر الحصول على قوة تكبير في الميكروسكوبات الإلكترونية الحديثة تصل إلى حوالي ١٦٠.٠٠٠ مرة . ويمكن تكبير الصور الفوتوغرافية ، التي يتم الحصول عليها ، إلى حوالي ١.٠٠٠.٠٠٠ مرة أو أكثر . وبذلك تمكن العلماء بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني من رؤية أشياء في الخلية لم تكن معروفة من قبل ، كما أمكنهم معرفة التفاصيل الدقيقة للتراكيب الخلوية الأخرى . وقد تم أخيراً تصميم ميكروسكوب جديد يصل مداه في التكبير أكثر من ذلك ويعمل على توضيح الذرات والجزيئات في التراكيب الخلوية .

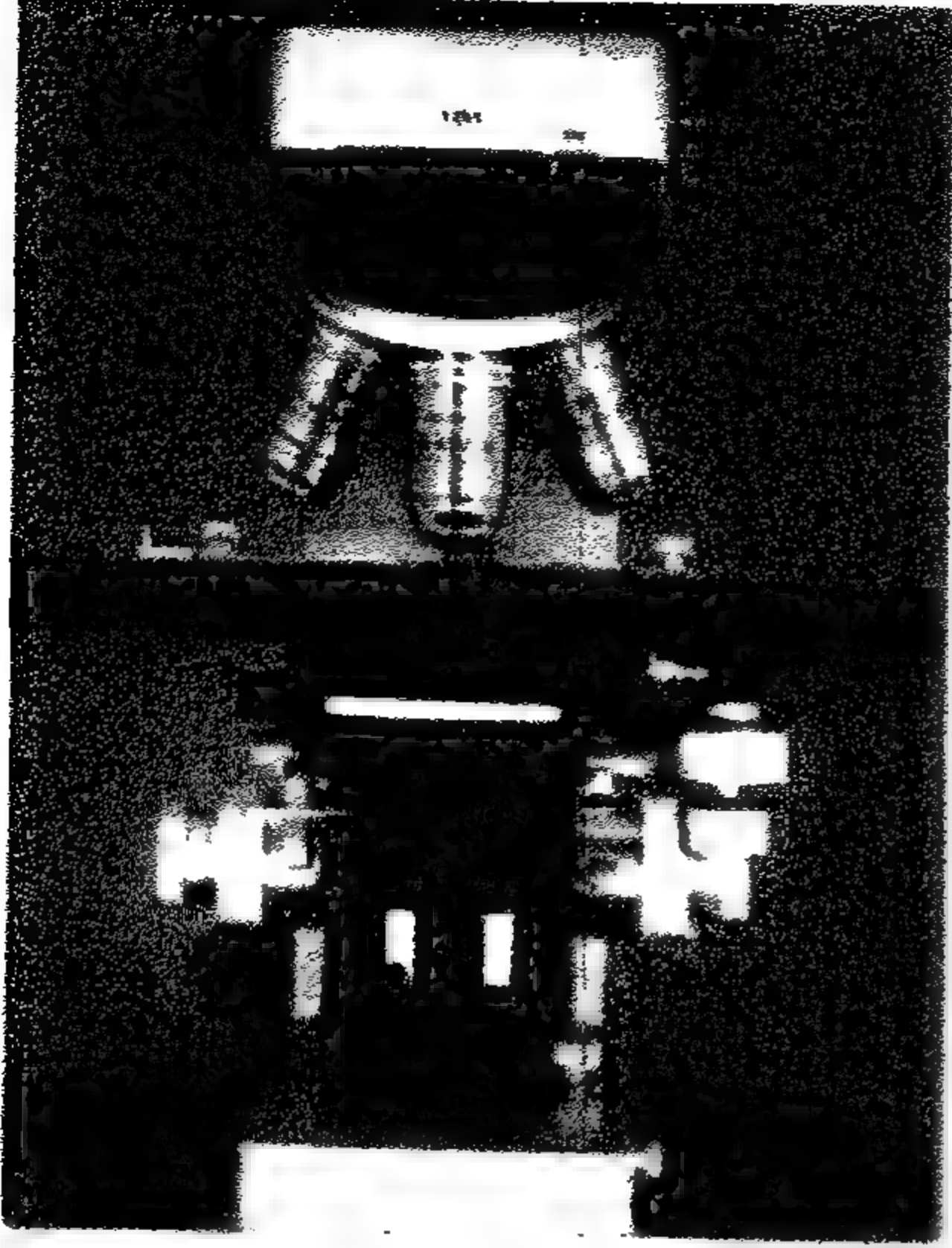
ويتكون الميكروسكوب الإلكتروني بصورة أساسية من حجرة تفريغ ، والعمود الإلكتروني للميكروسكوب الذي يوجد فيه المصدر الإلكتروني ( القذيفة الإلكترونية ) التي تولد حزمة من الإلكترونات ، وجهاز ضوئي يوضح صورة الأجسام على شاشة فلورية أو لوحة تصوير بالغة الحساسية .



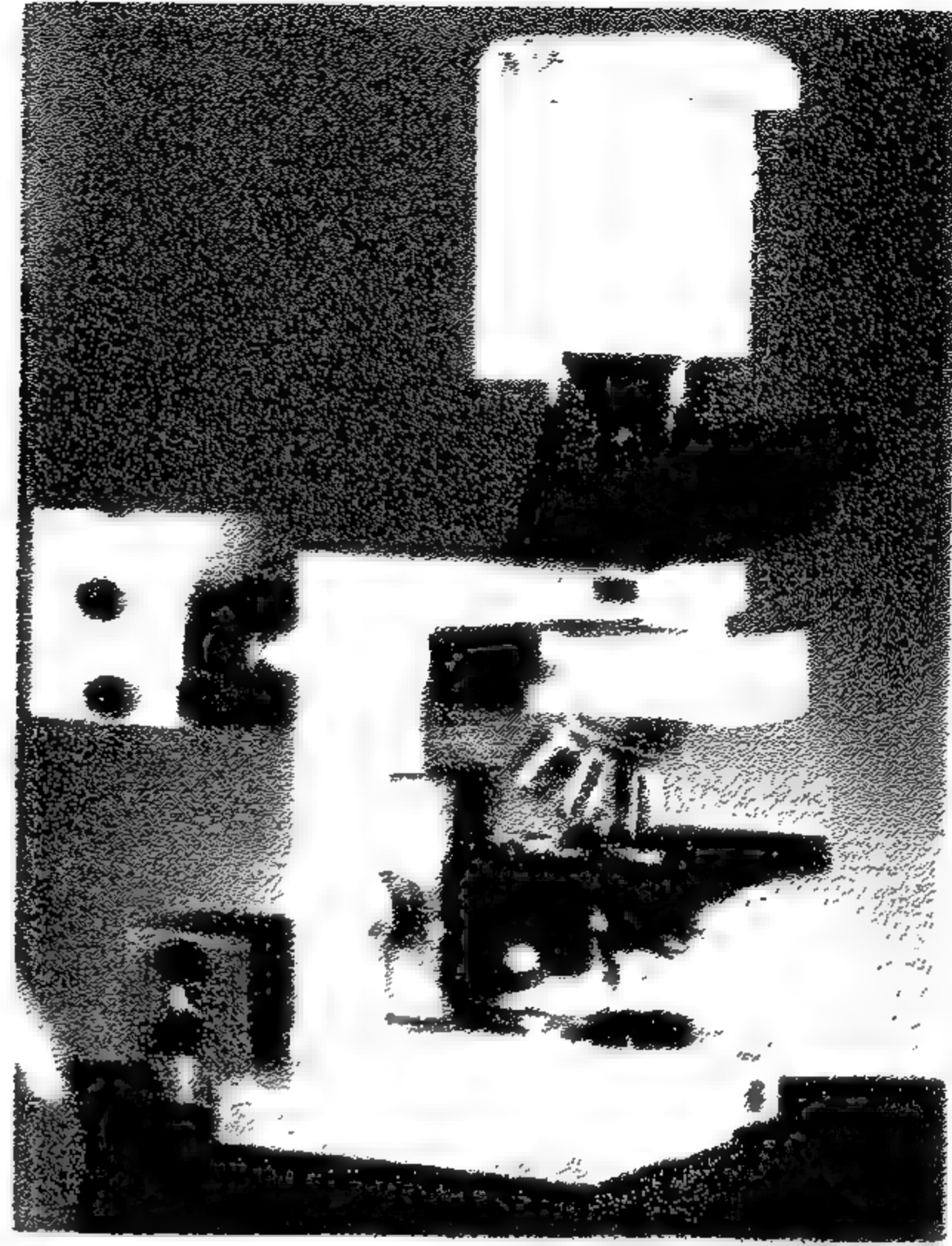
(شكل ٢) الميكروسكوب الضوئي المعتاد

- |                |                    |                   |                        |
|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| ١ - القاعدة    | ٢ - مسمار الضبط    | ٣ - الذراع        | ٤ - انبوية الميكروسكوب |
| ٥ - عدسة عينية | ٦ - القطعة الانفية | ٧ - عدسة شينية    | ٨ - مسمار التثبيت      |
| ٩ - المنصة     | ١٠ - الحاجز الضوئي | ١١ - مصدر الاضاءة |                        |

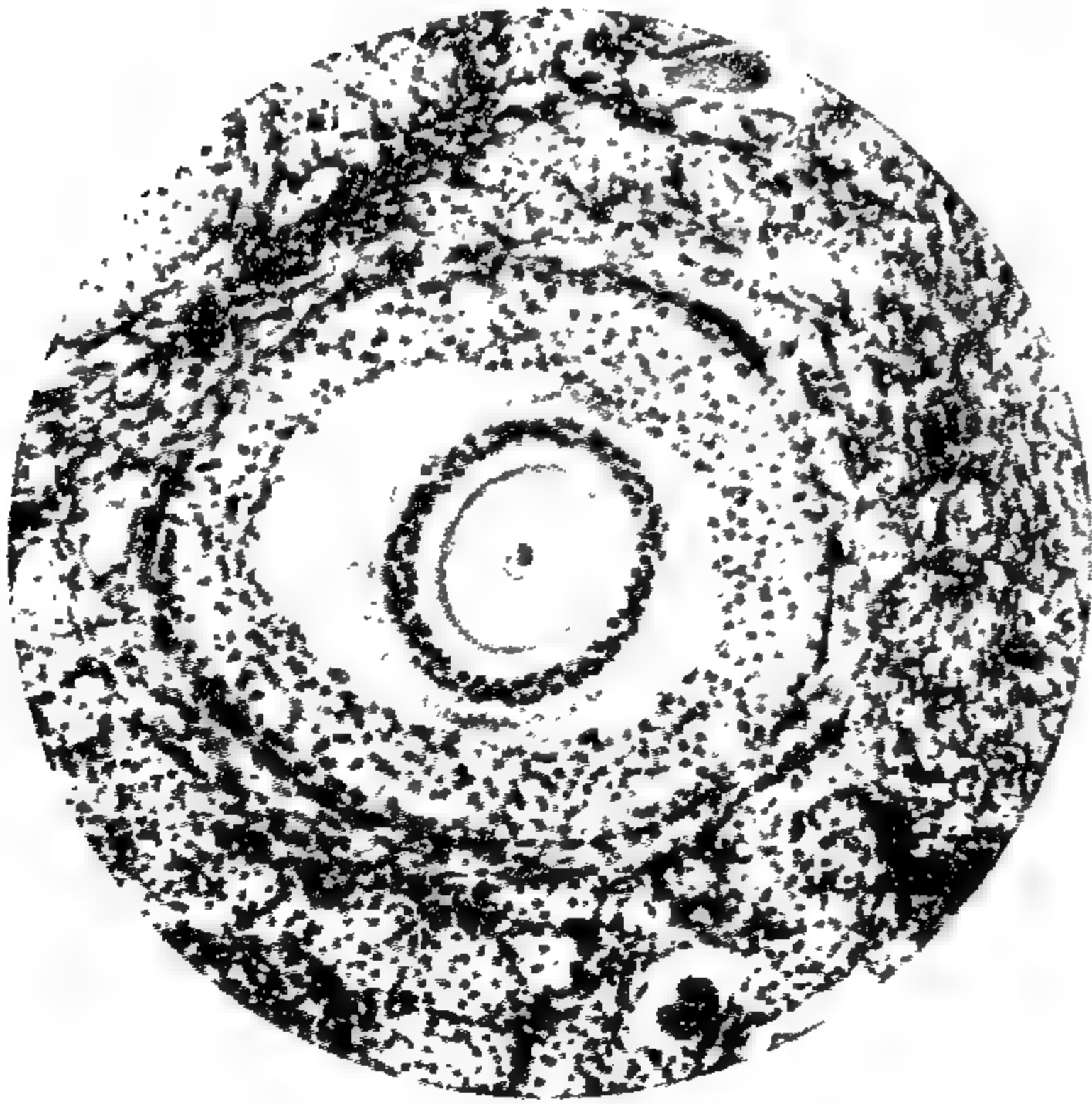




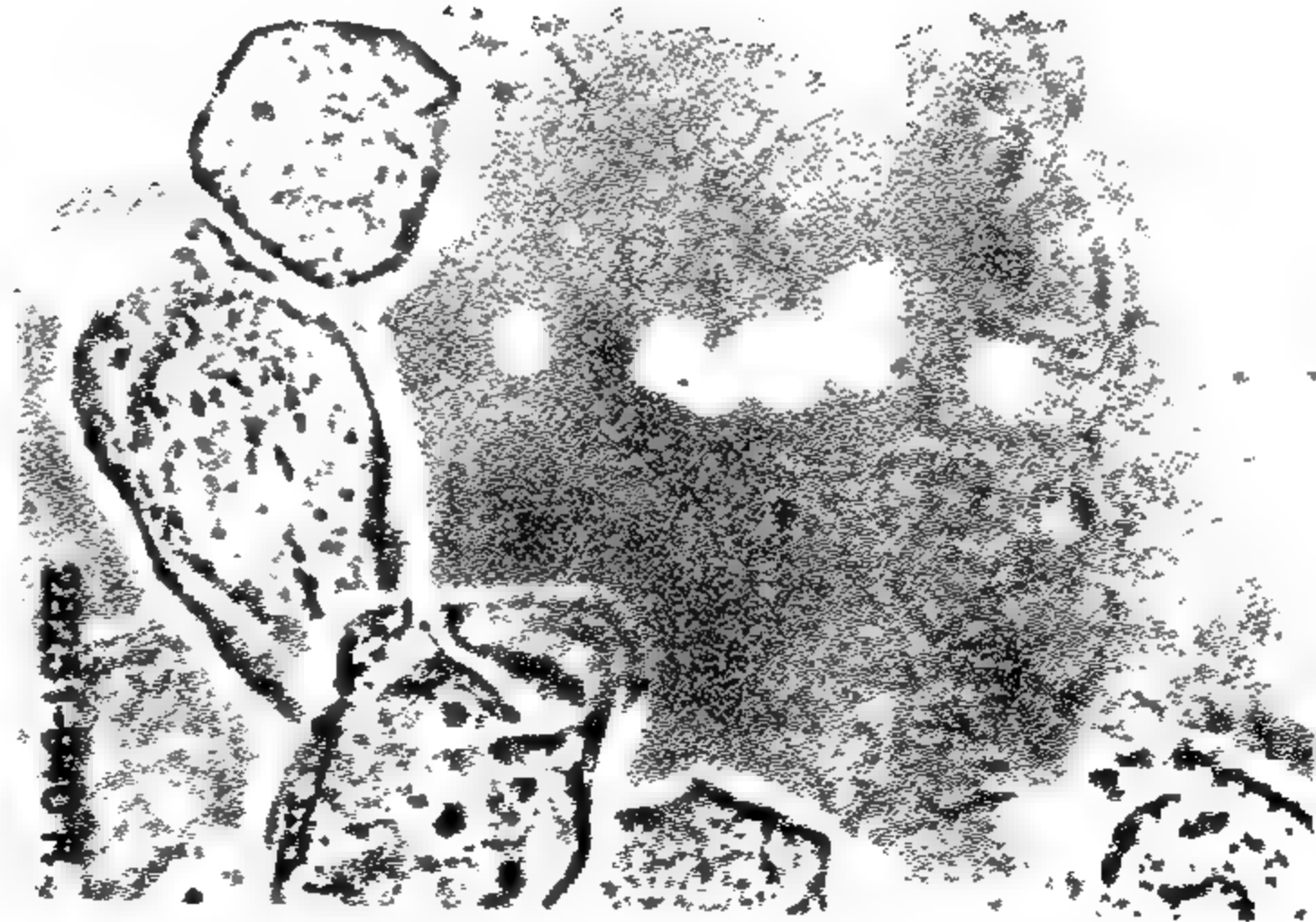
الجزء الاساسى لميكروسكوب التضاد او التباين



(شكل ٤) ميكروسكوب التضاد (التباين)  
(بحالته الكاملة)

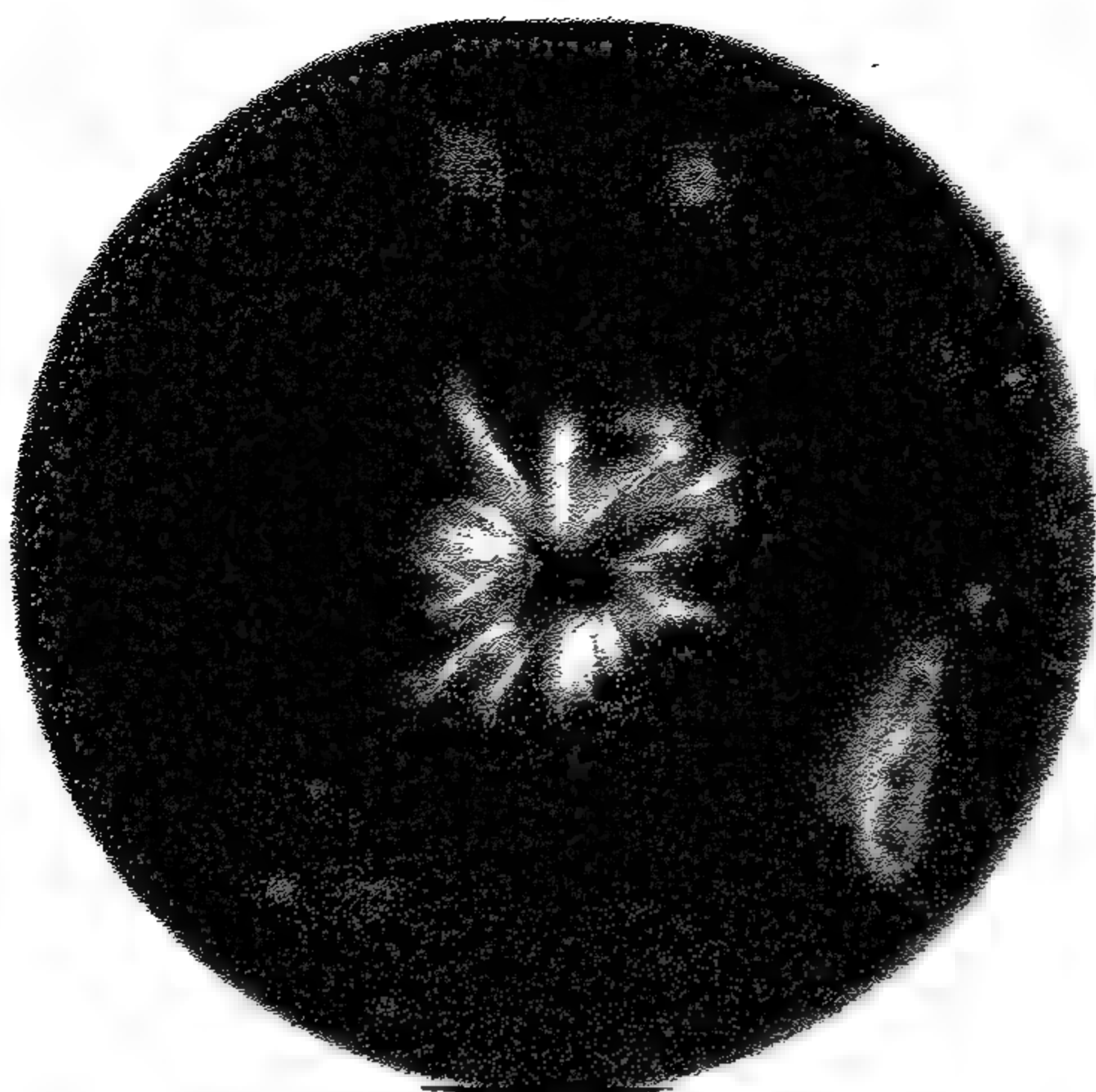


(شكل ٦)  
حوصلة جراف (فى المبيض)  
بميكروسكوب التضاد او التباين

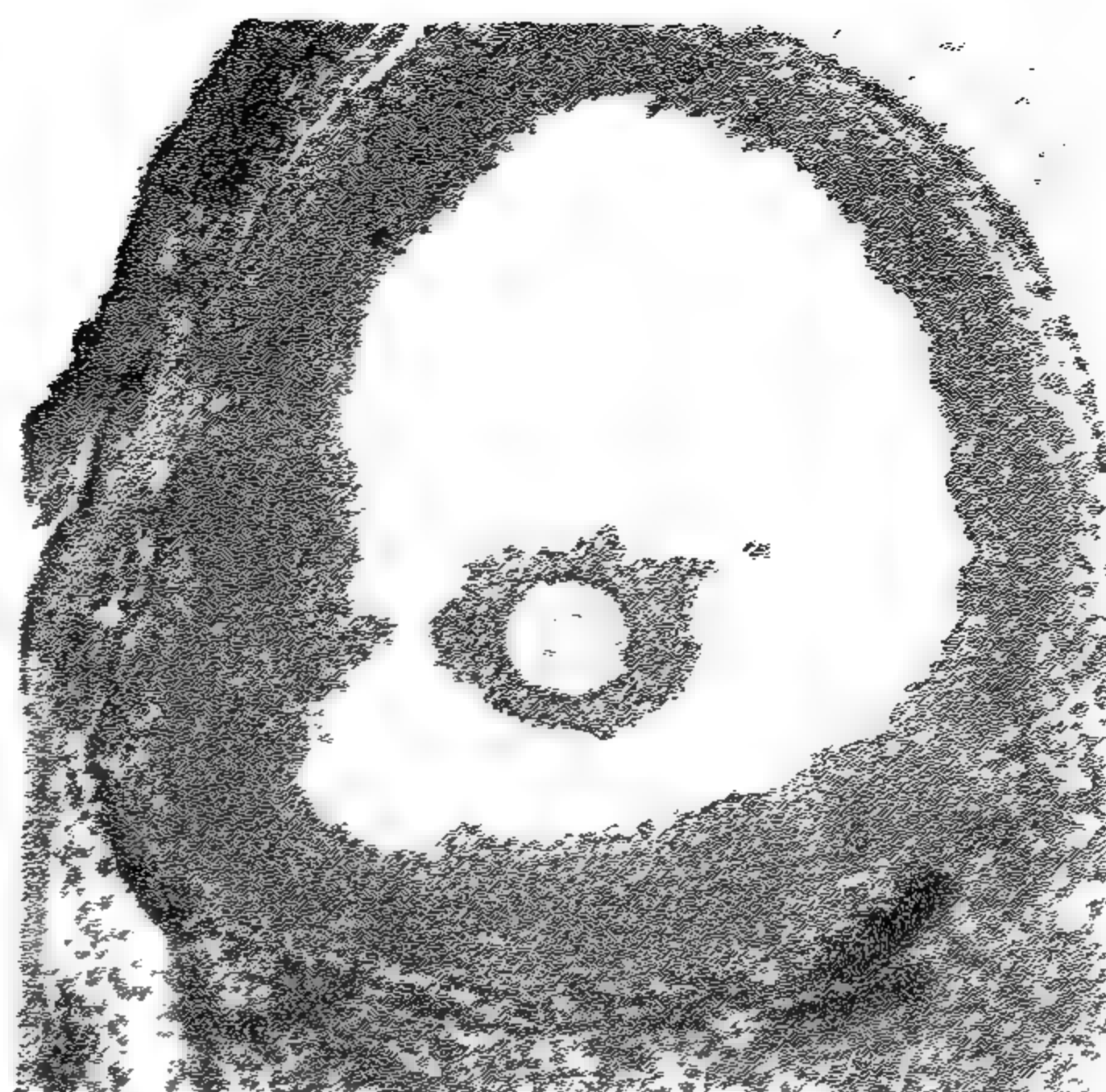


(شكل ٥)  
خلية حية كما تظهر بميكروسكوب التضاد

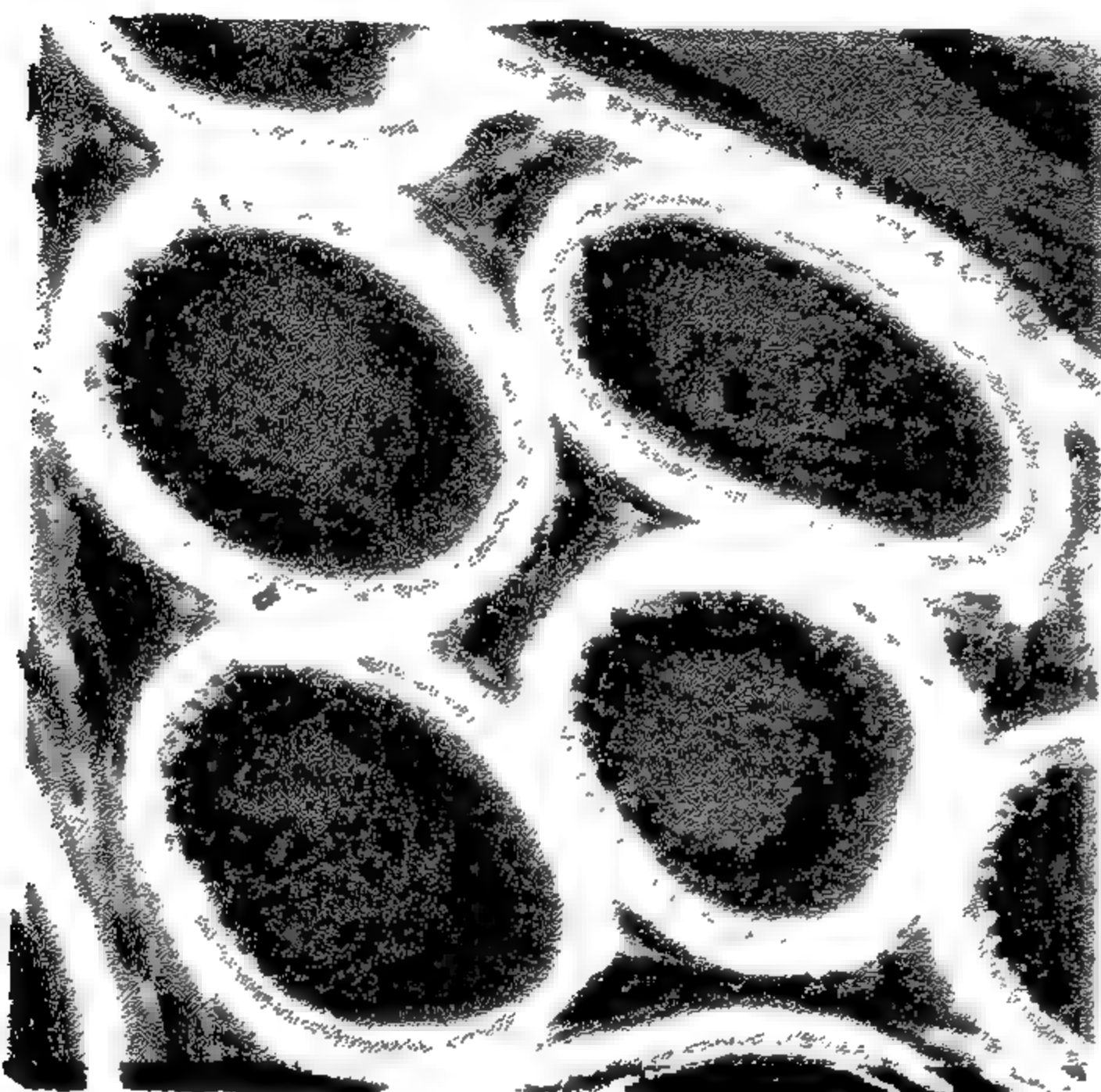




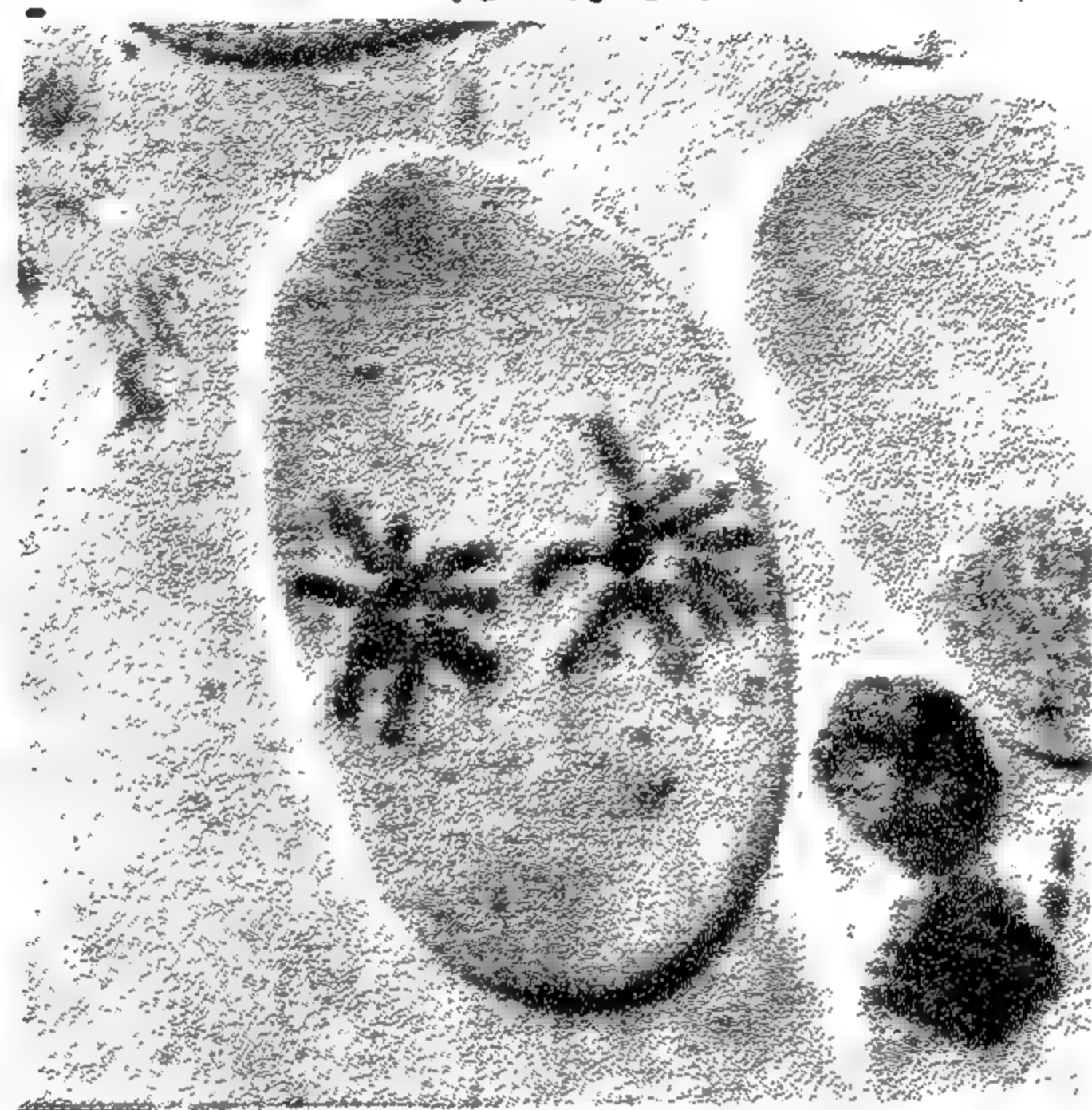
(شكل ٧) إحدى رواسب أو حصوات الكلية  
بالميكروسكوب التضاد أو التباين



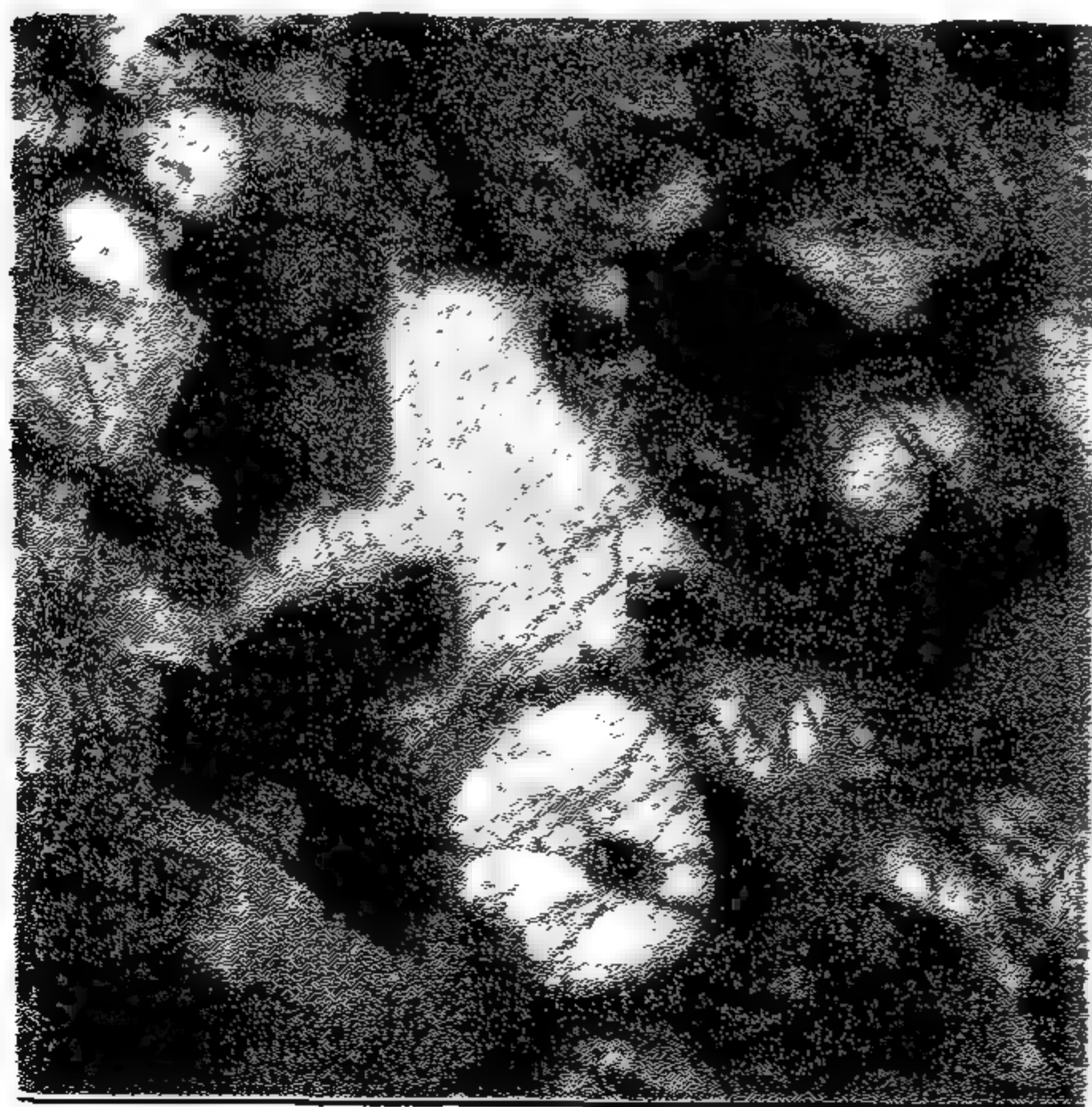
(شكل ٣) حوصلة جراف (في المبيض)  
بالميكروسكوب الضوئي المعتاد



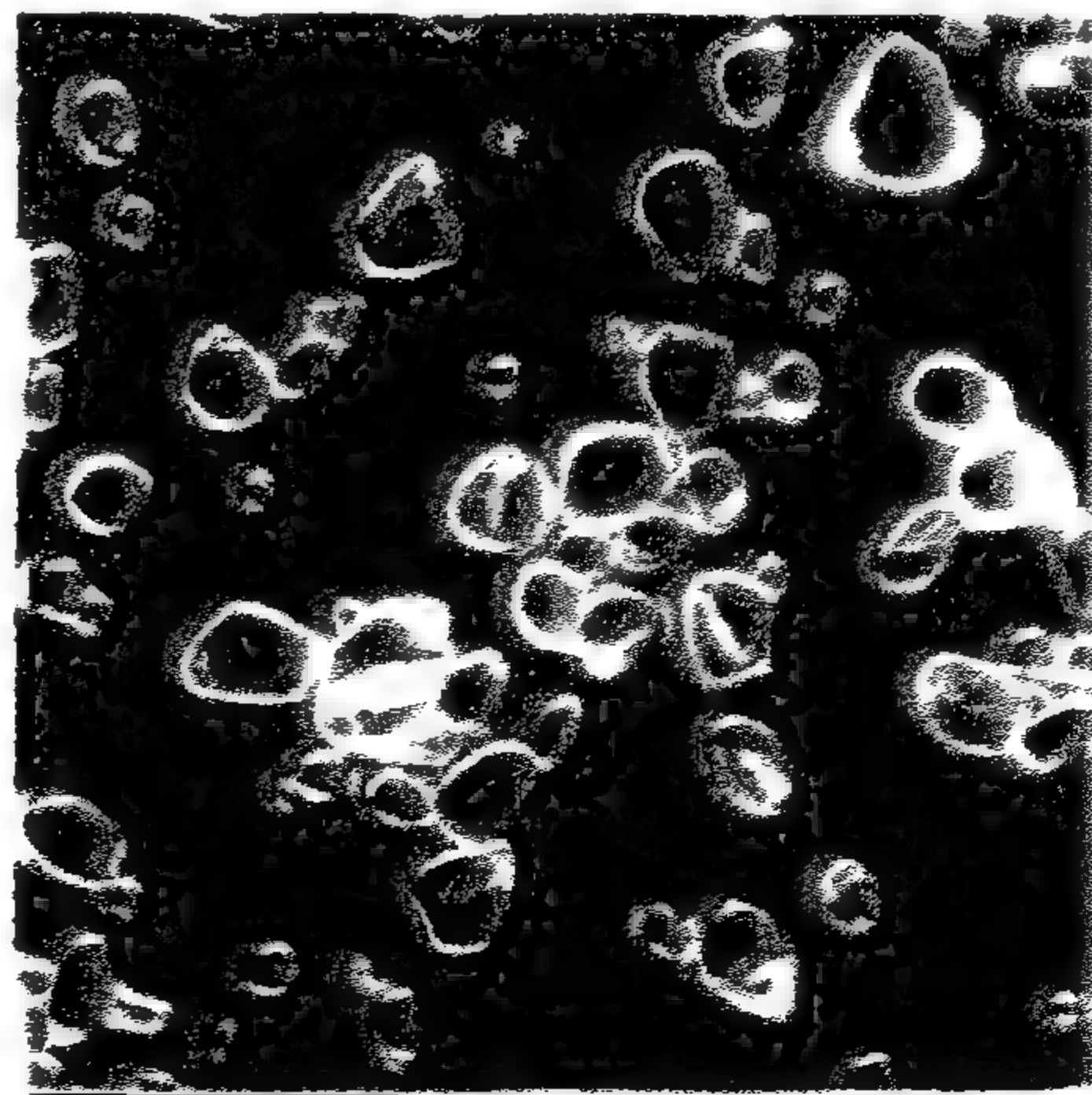
(شكل ٩) الحوصلات المنوية في الخصية  
بالميكروسكوب الفلوروسنتي



(شكل ٨) مرحلة انقسام بميكروسكوب التداخل

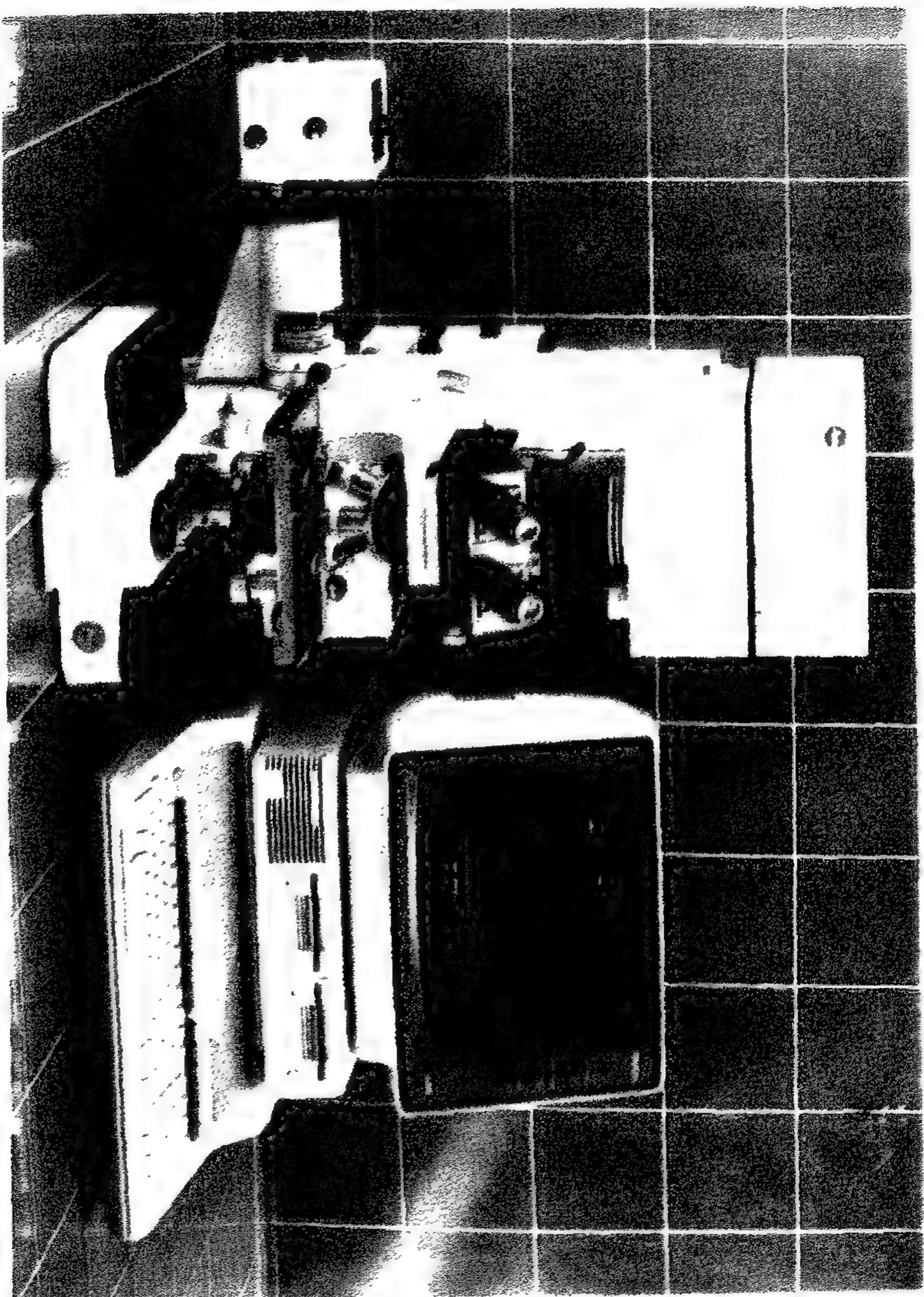


(شكل ١١) بلورات متنوعة بميكروسكوب الاستقطاب



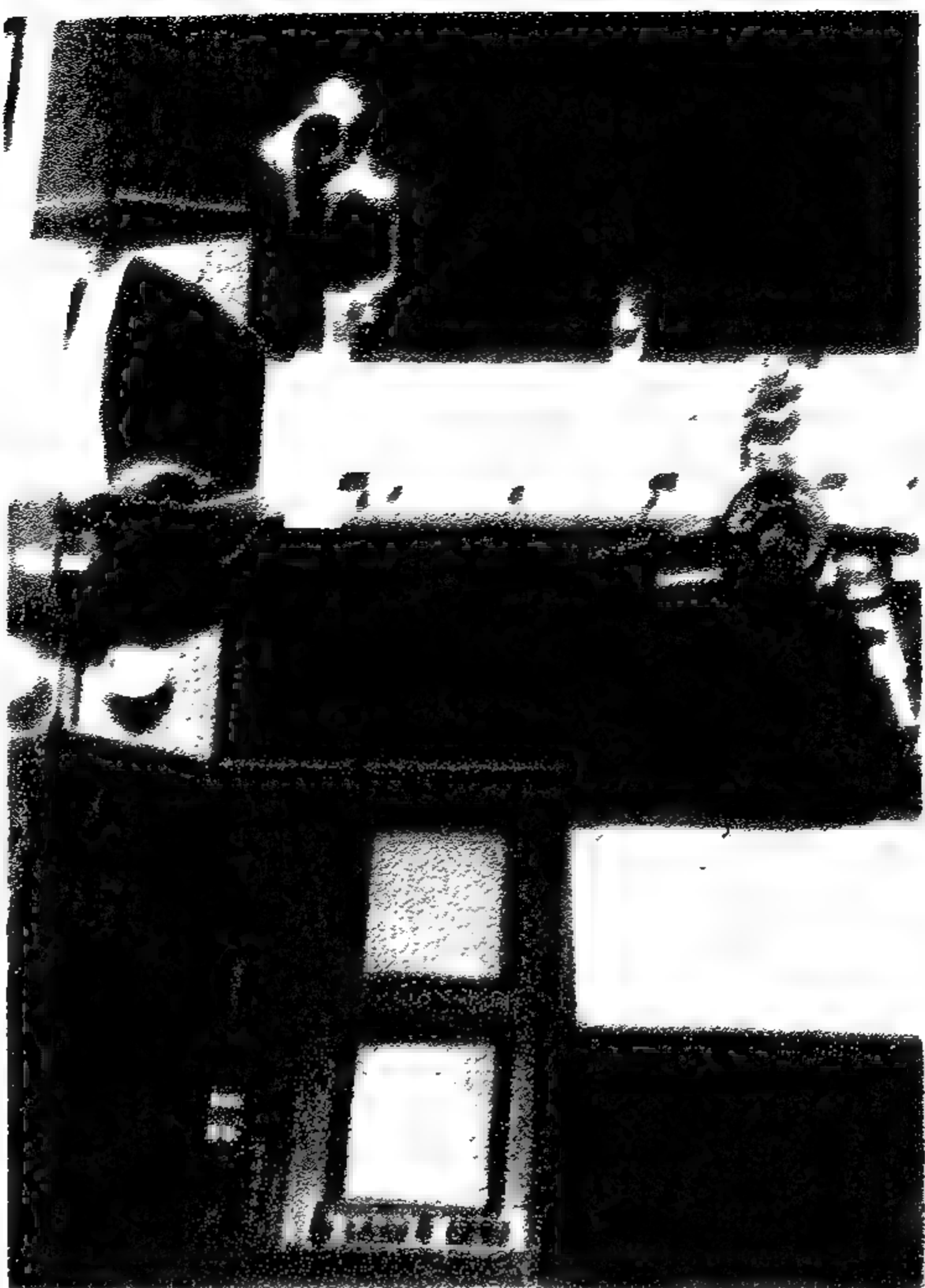
(شكل ١٠) بعض أنواع البكتيريا بالميكروسكوب الاغلامي





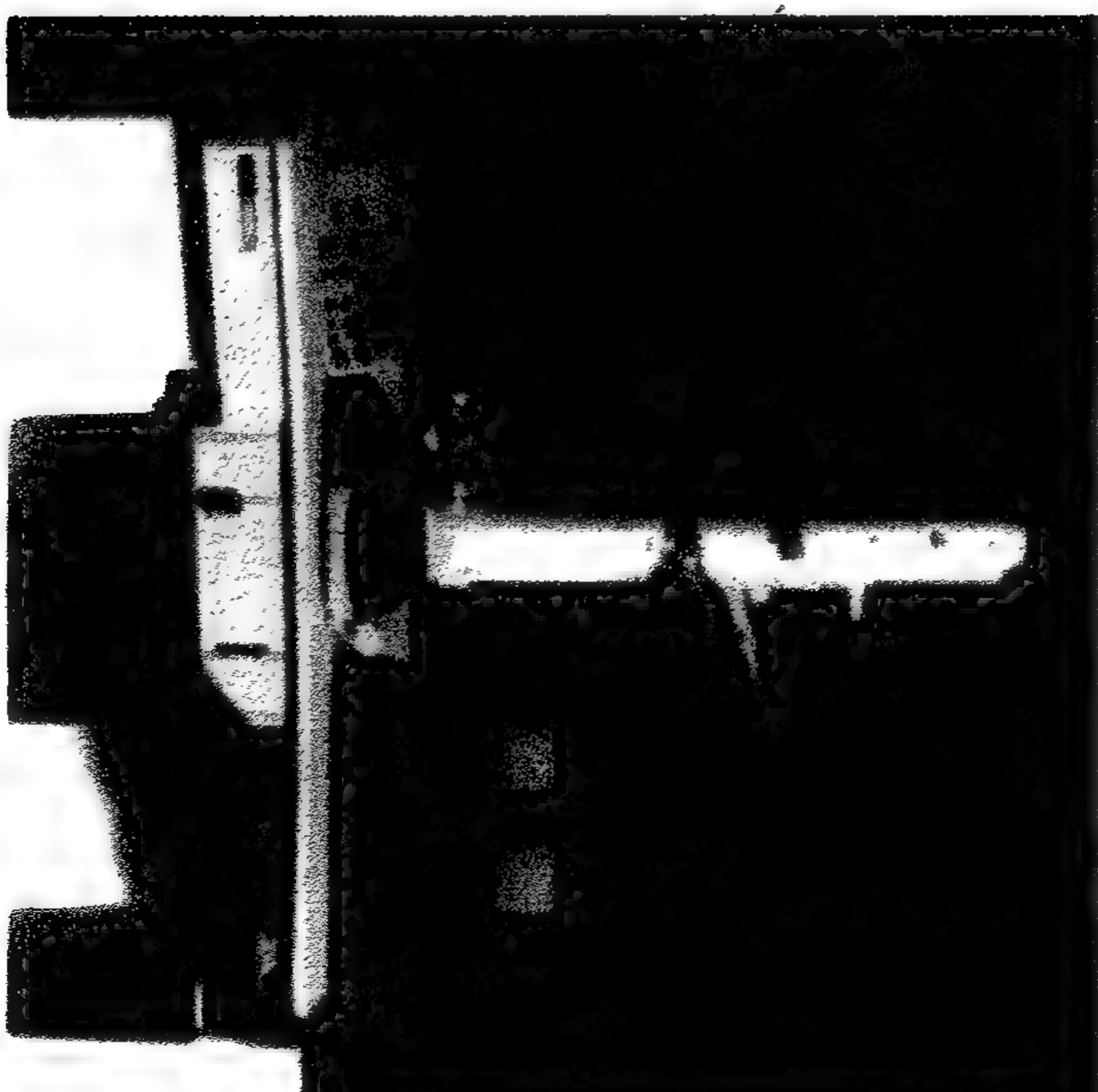
(شكل ١٢)

جهاز القياس الضوئي الخلوي ( ستيكومتريتر ) للدراسات السيتوكيميائية الكمية )



(شكل ١٤)

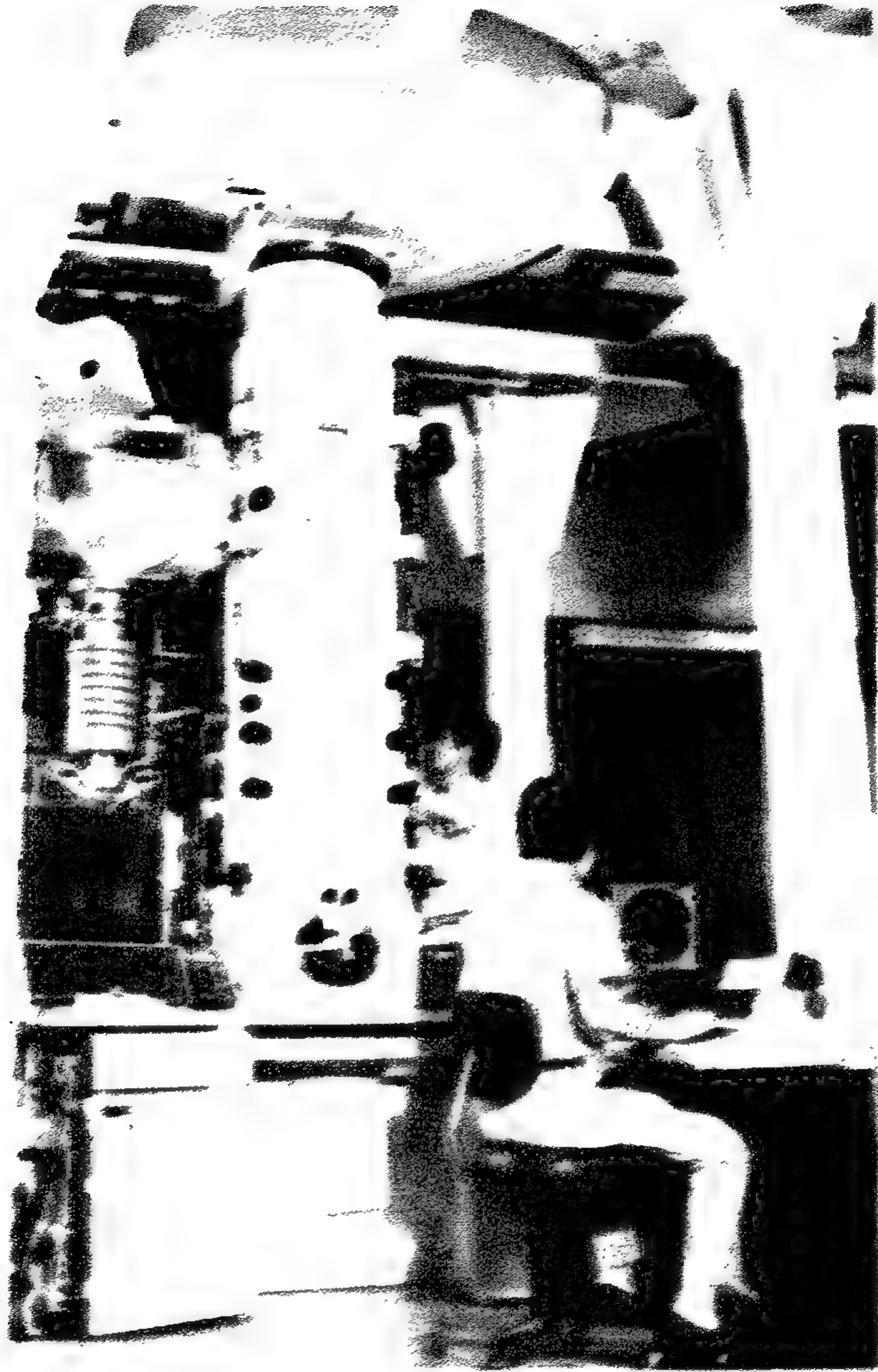
جزء مكبر من قاعدة ميكروسكوب الإلكتروني



(شكل ١٣)

ميكروسكوب الإلكتروني

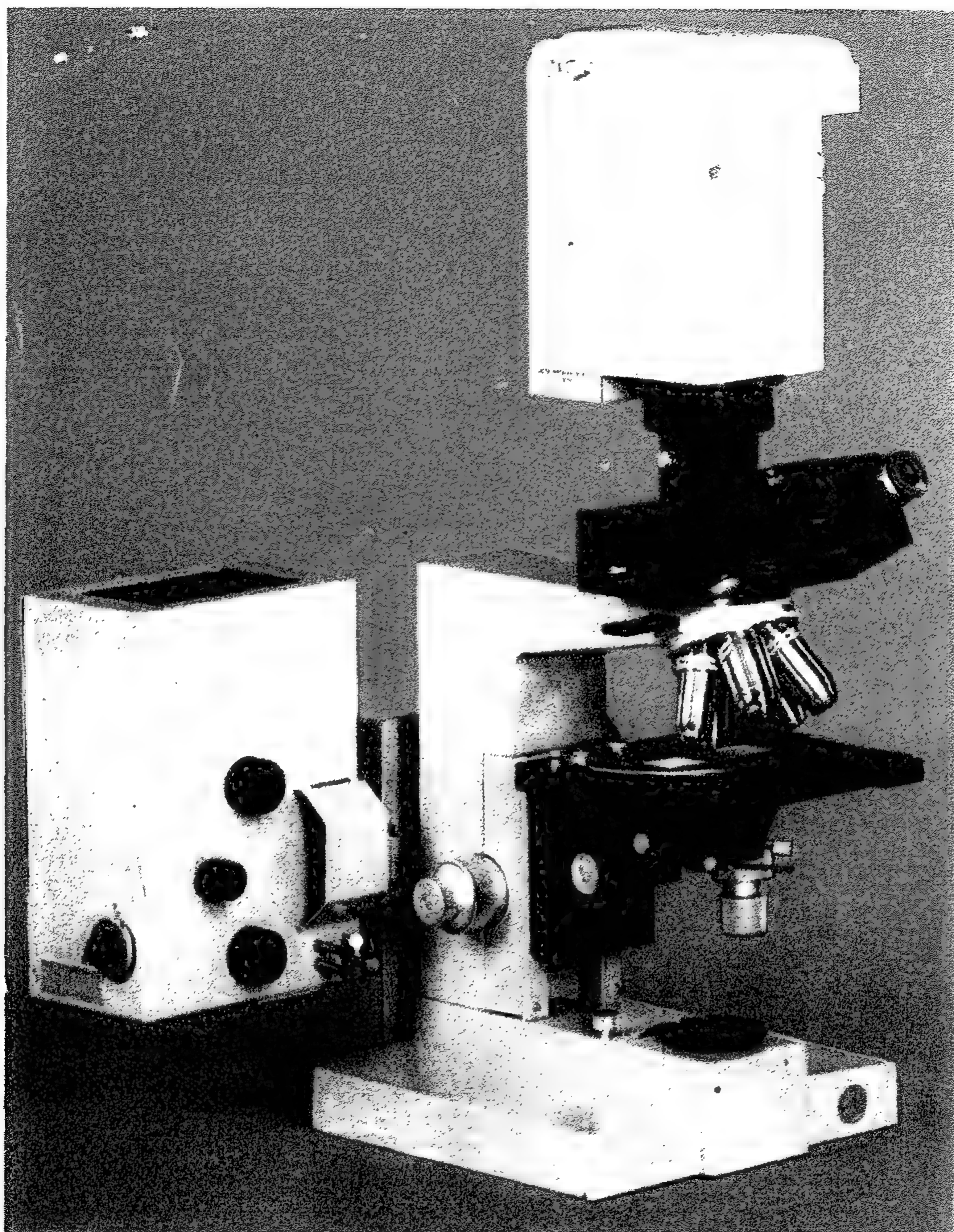




( شكل ١٦ )

أحدث الميكروسكوبات الالكترونية ( هيتاشي ١٩٨٨ )

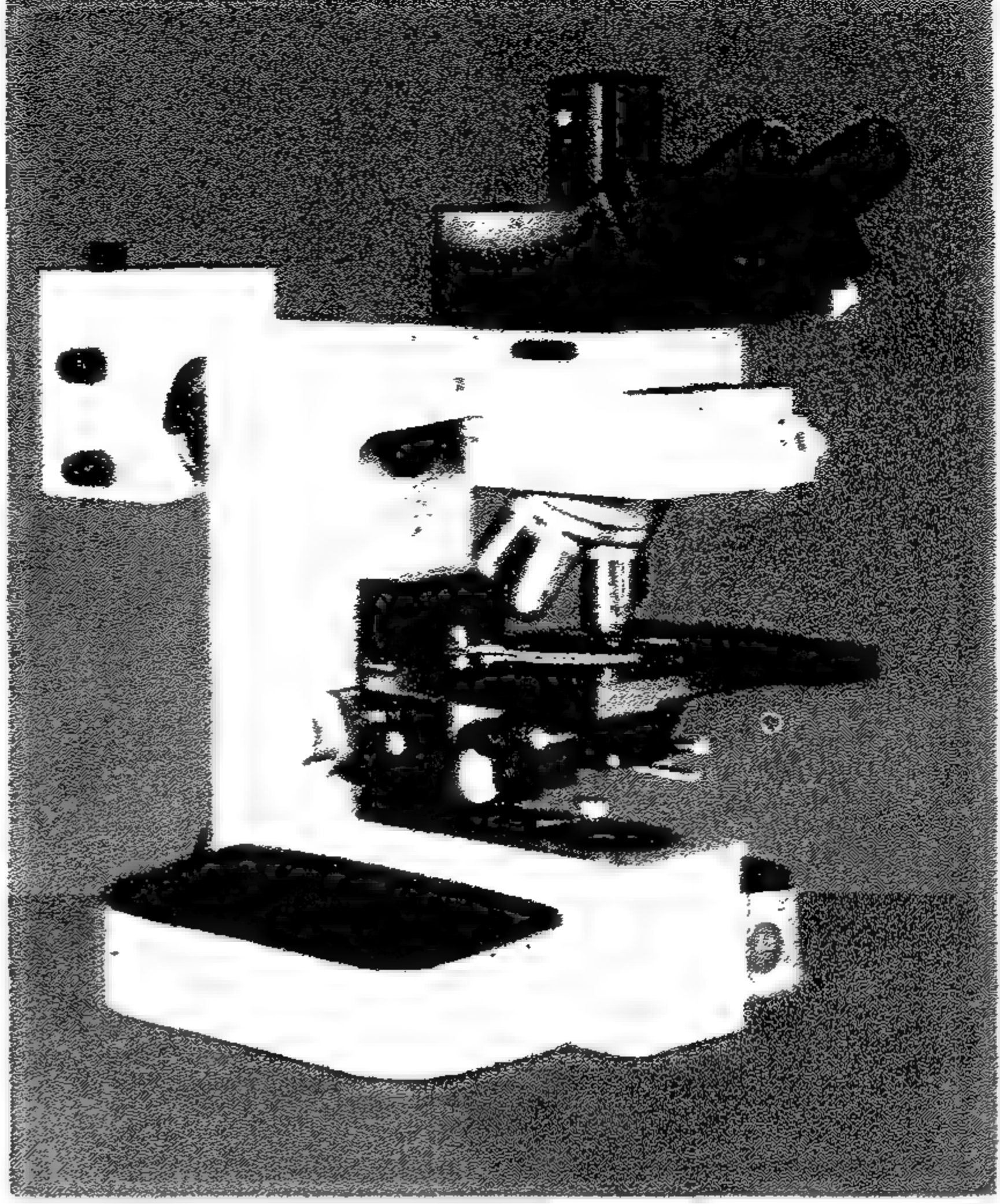




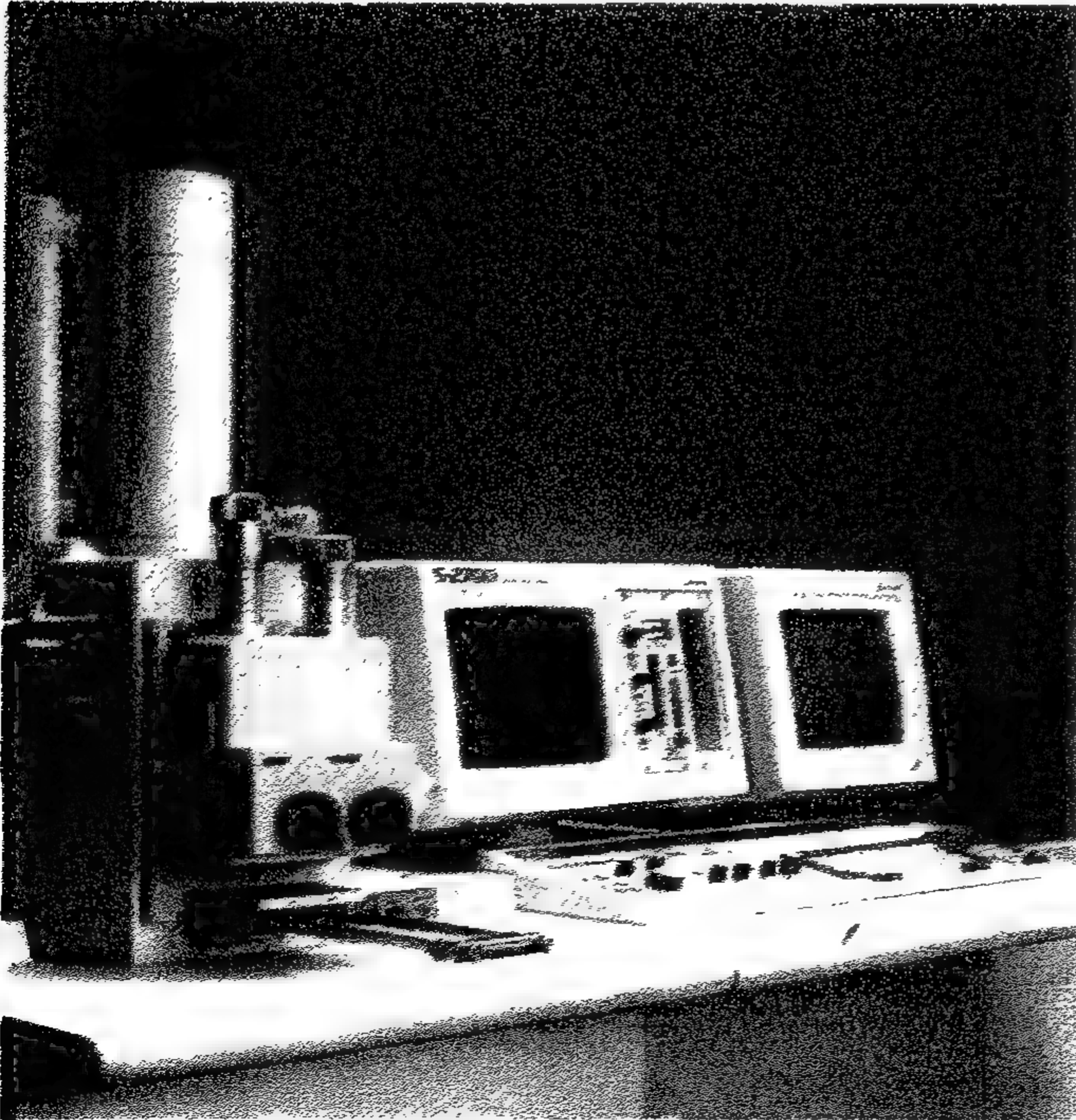
( شكل ٨ ب )

ميكروسكوب الاشعة فوق البنفسجية  
Ultraviolet Microscopy



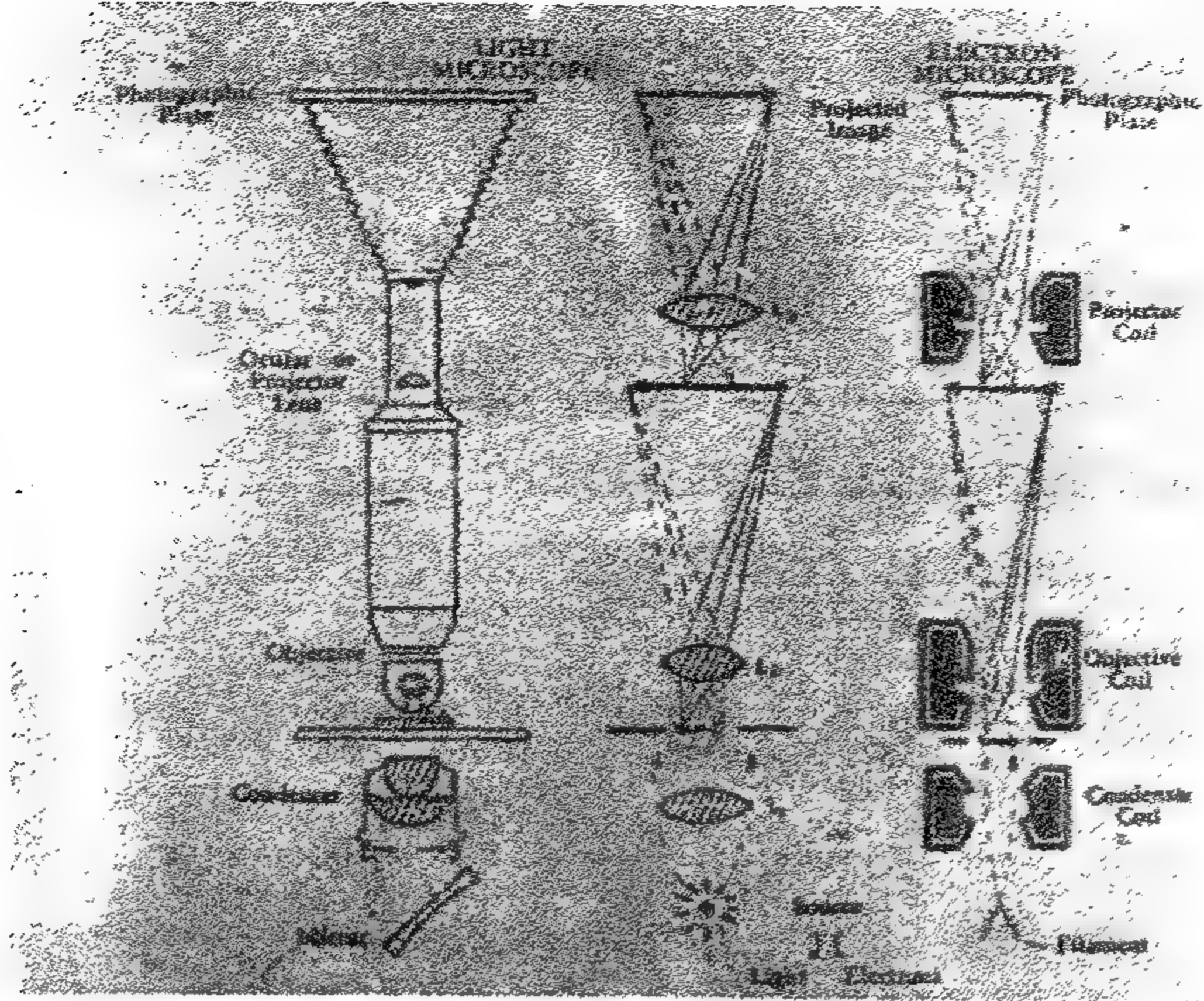


(شكل ١١٠)  
ميكروسكوب الحقل (الحيز) المظلم  
Dark Field Microscope



(شكل ١١٦)  
أحدث الميكروسكوبات  
الاليكترونية الماسحة  
Ultramodern Scanning  
Electron Microscope





شكل (١٥) مرور الأشعة الضوئية في الميكروسكوبين الضوئي والالكتروني

ويتم الحصول على حزمة الالكترونات بتسخين سلك من التنجستين مثلاً - وهو خيط الكاثود ( القطب الموجب ) . ويتم تنشيط أو اسراع الالكترونات بواسطة قوة الفولت المرتفعة المنشطة والتي توضع بين الكاثود والأنود ( القطب السالب ) . وتتم المحافظة على القطب السالب عند معدل الجهد الأرضي بينما يكون القطب الموجب عند جهد سالب مرتفع . ويتم العزل الكهربائي بين القطب الموجب وبقيّة الميكروسكوب بواسطة الخزف أو الزجاج .

ويشتمل الجهاز الضوئي في الميكروسكوب على عدسة تكثيف مغناطيسية تعمل على تركيز حزمة الالكترونات في العينة والعدسة الشيئية وعدسة العرض التي تعمل جميعها على تكوين صورة مكبرة للعينة على الشاشة الفلورية أو الشريحة التصويرية . ويجب أن تمر حزمة الالكترونات في الميكروسكوب الالكتروني خلال مسافة مفرغة تفريفاً جيداً حتى لا تتشتت الالكترونات .

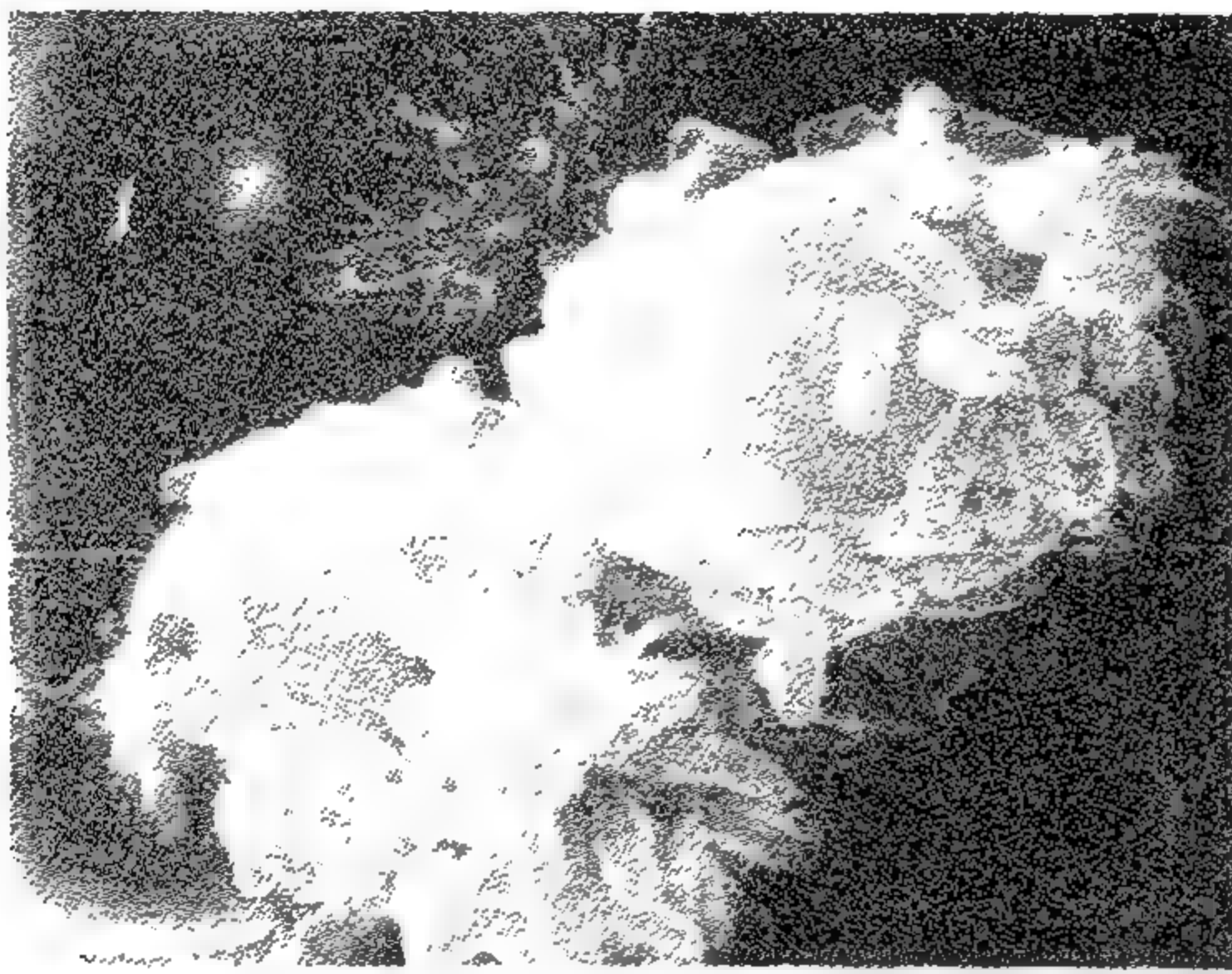
وبصورة عامة فإن الميكروسكوب الالكتروني يستخدم كمصدر للاضاءة حزمة من الالكترونات بدلا من الضوء العادي . وتخترق هذه الالكترونات العينية ثم تقع على



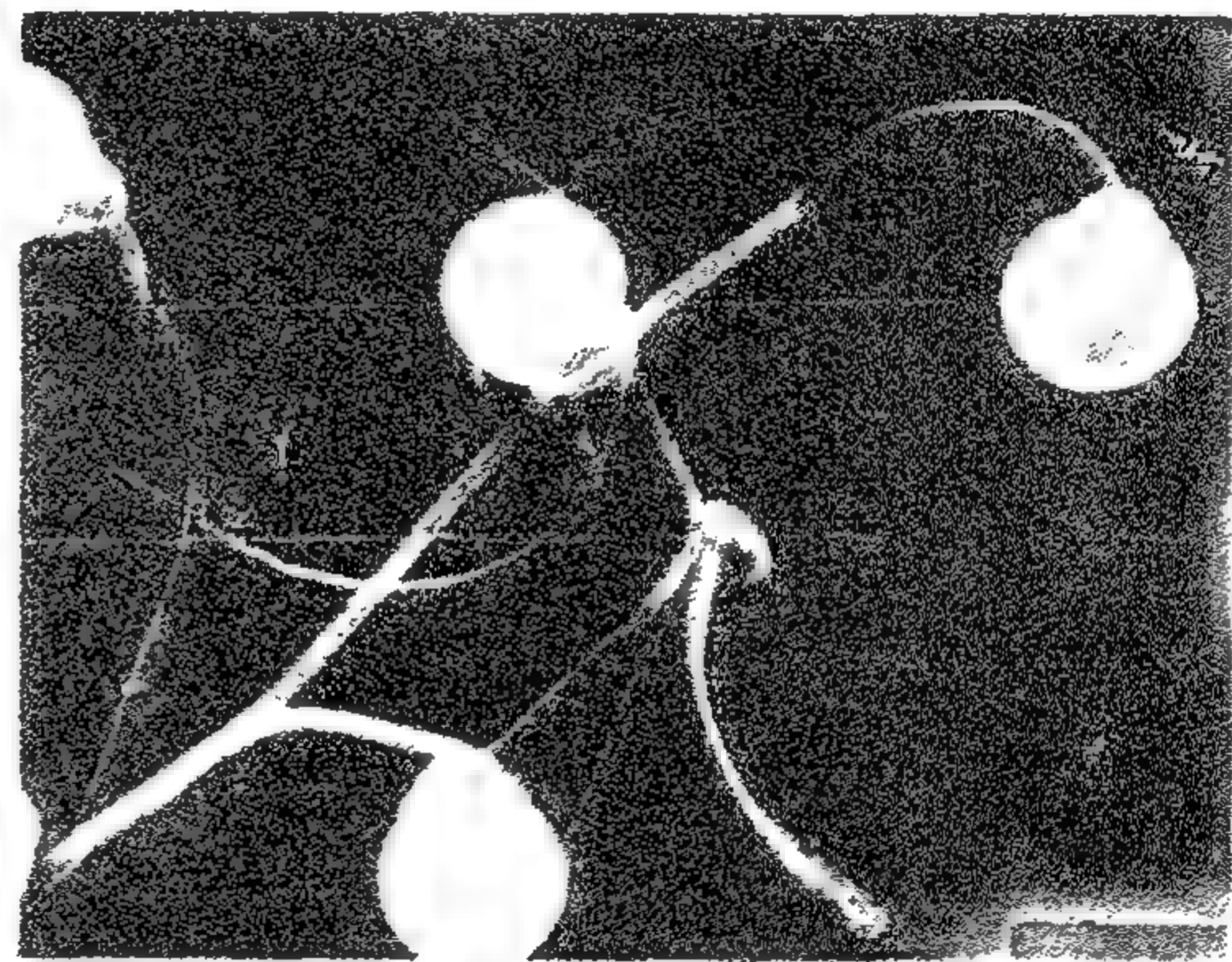
شريحة تصويرية مكونة صورة مكبرة للعيننة . وواضح ان للميكروسكوب الالكترونى - بما ينتجه من قوة تكبير مرتفعة - أهمية بالغة فى توضيح التركيب الدقيق للمكونات الخلوية .

#### الميكروسكوب الالكترونى الماسح Scanning Electron Microscope

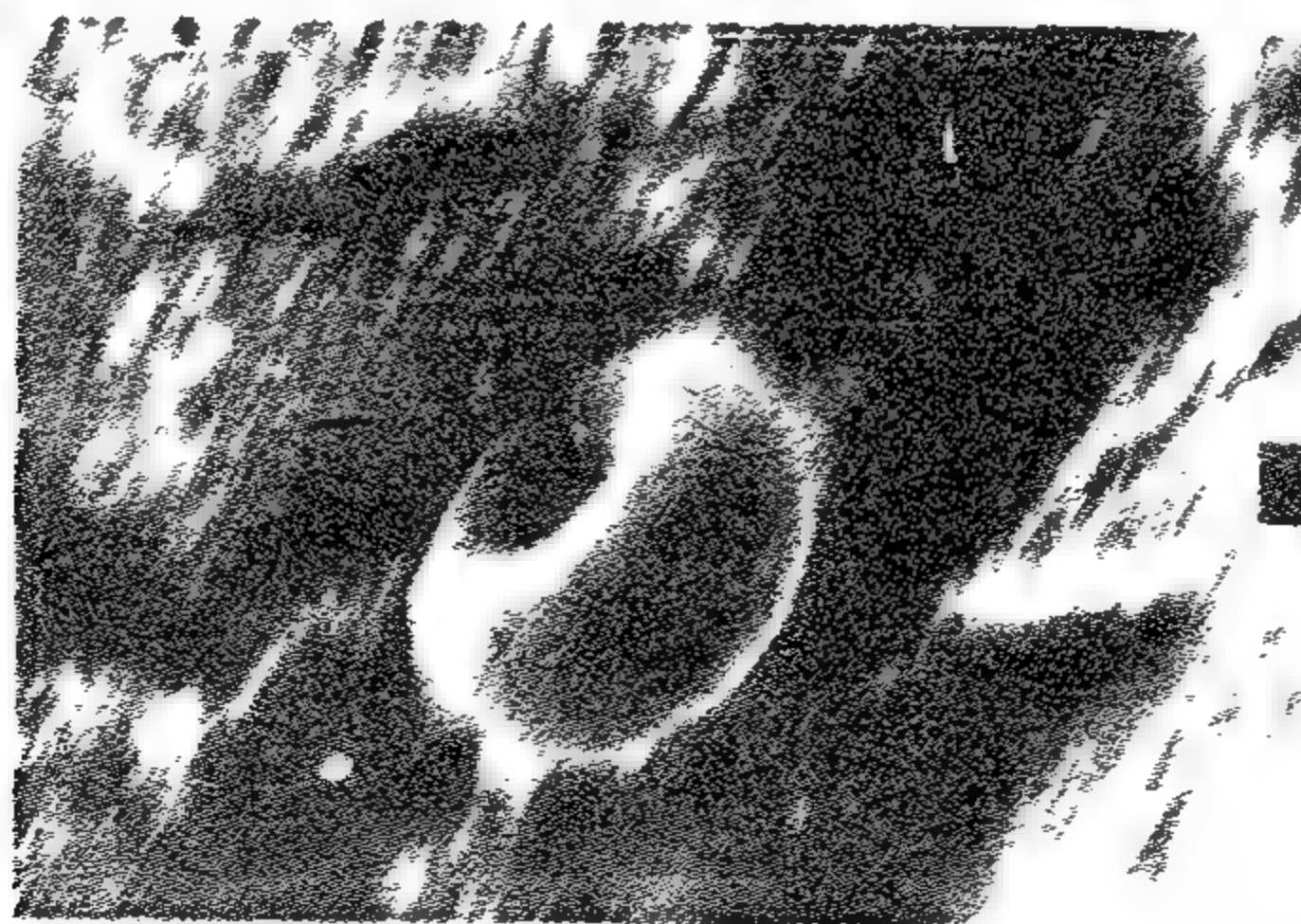
وهو مبنى أساسا على نفس الفكرة السابقة ولكنه يختلف جذريا عنه من ناحية انه يقوم بتصوير الاسطح الخارجية فقط للتركيب الدقيقة ومعنى ذلك أن الأشعة الالكترونية التى تستخدم فى الأضاءة لا تخترق العينات إنما تقع عليها من أعلى هذا ، بالطبع بجانب اختلاف أساسى فى طرق اعداد العينات للفحص فى الحالتين ( اشكال ١٦ أ ، ب ، ج ، ١٦ د )



( ١٦ ج ) أحد أنواع البكتيريا



( ١٦ ب ) حيوانات منوية

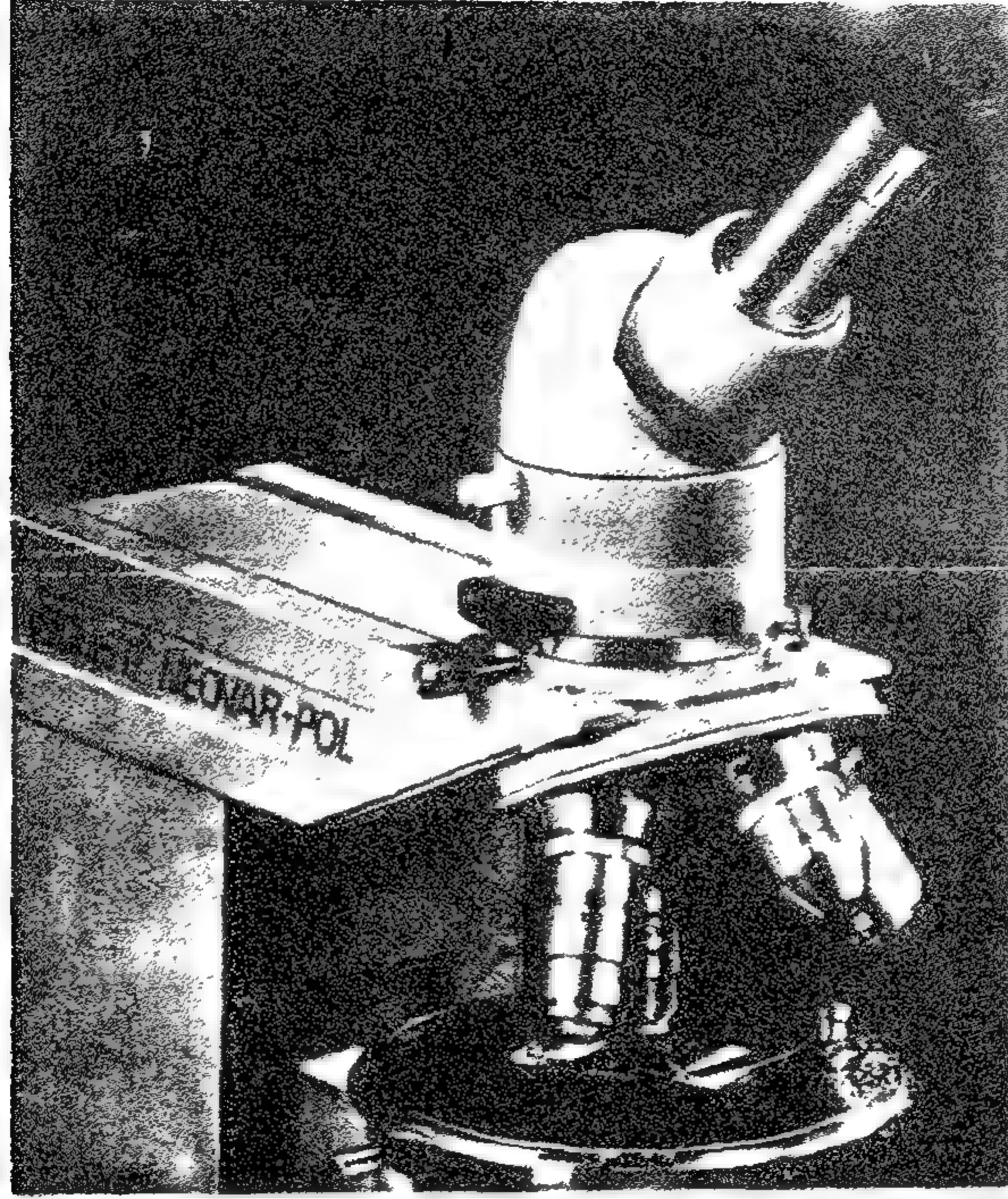


( ١٦ د ) خلية دم حمراء



### ميكروسكوب الضوء المستقطب ( Polarized microscope )

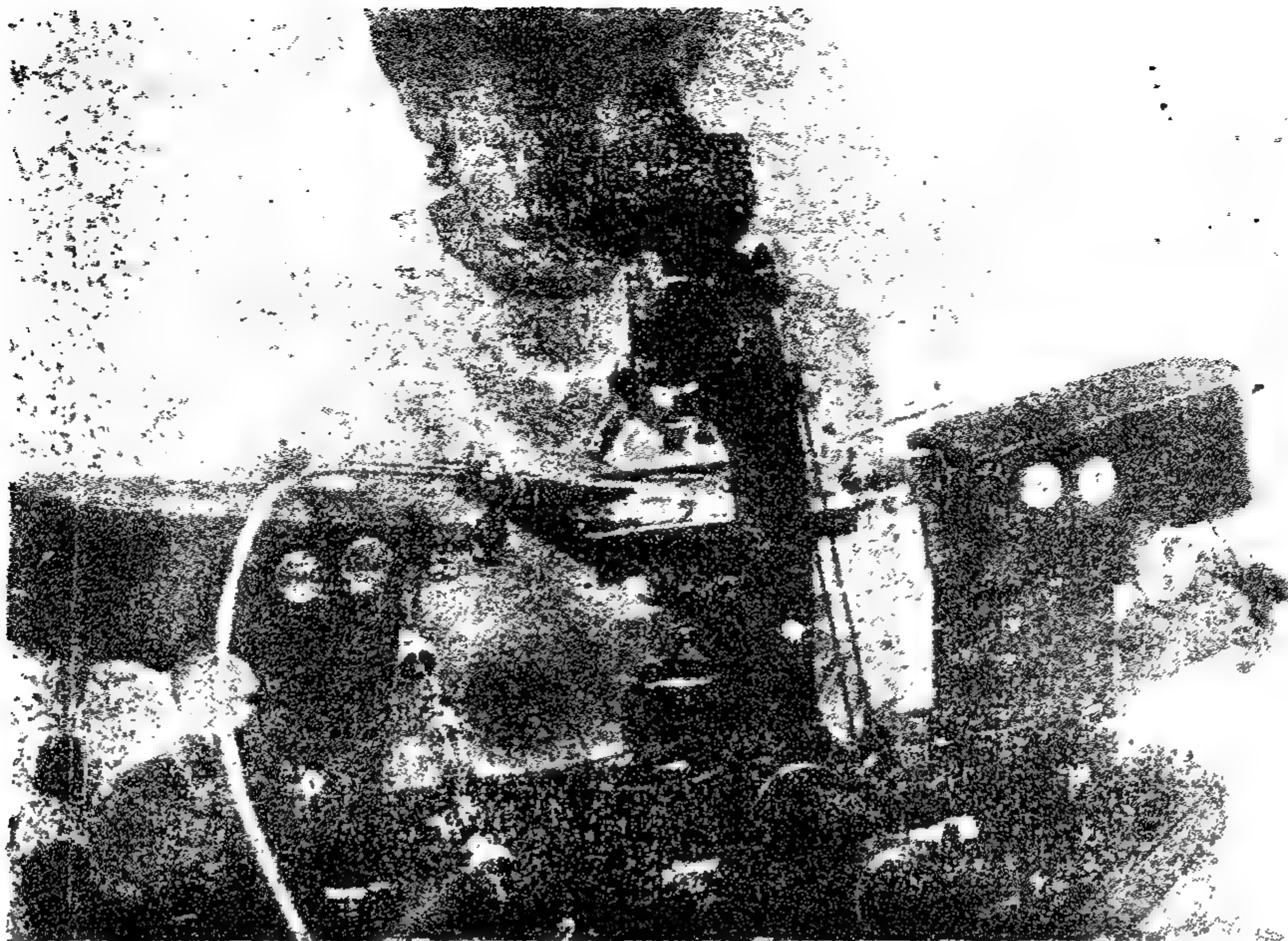
وهو اوسع استخداما بالنسبة للبلورات والمعادن عنه فى الاغراض البيولوجية وهو يختلف بصورة اساسية عن الميكروسكوب العادى فى احتوائه على تصميمين اضافين ، يعمل احدهما على استقطاب الضوء ويعمل الآخر على تحليل الضوء . وعند استخدامه فى فحص العينات البيولوجية فان ذلك يتوقف على نمط ظهورها بهذا الضوء المستقطب ( أشكال ١١ ، ١١ أ )



شكل ( ١١ أ ) ميكروسكوب الضوء المستقطب Palarization Microscope

### جهاز التشريح الميكروسكوبى "Micromanipulator"

يستخدم جهاز التشريح الميكروسكوبى على نطاق واسع فى الدراسات التجريبية فى الخلايا ( شكل ٥ ) . وهو ميكروسكوب ضوئى مزود بإبر دقيقة وشفرات رفعية حادة وحقن دقيقة وبذلك يمكن إدخال إبرة داخل الخلية وحقنها بمواد معينة أو قطع أجزاء منها لمعرفة أثر ذلك على تراكيب الخلية ومناشطها الحيوية .



(شكل ١١ ب) جهاز التشريح الخلوي Micromanipulator

## طرق دراسة الخلية

Methods for studying cells

توجد طرق خاصة لدراسة الخلية ومحتوياتها وتركيبها الكيميائي . وهناك مسلكان رئيسيان يتبعان في دراسة الخلايا :

(١) الطرق الحيوية ( فحص الخلايا وهي حية ) .

(٢) فحص الخلايا المثبتة بالمثبتات المختلفة .

فحص الخلايا الحية: Examination of living cells:

الفحص الحيوي وفوق الحيوي : "Vital and supra-vital examination"

حيث يتم صباغة الخلايا الحية داخل الجسم أو خارجه بصبغات متخصصة مثل أخضر جانس (Janus green) والأحمر المتعادل (Neutral red) .



كذلك ، فإن طرق زراعة الأنسجة (tissue culture) لها أهميتها البالغة فى دراسة تركيب الخلية . وهذه الطرق فى تقدم ملحوظ حتى أن مزرعة للخلايا الليفية ظلت فى حالة الحياة لأكثر من ثلاثين عاما .

**المثبتات المستخدمة فى بيولوجيا الخلية : Fixatives used in cell biology**

يطلق على العملية التى تستخدم للمحافظة على الخلايا والأنسجة فى حالة أقرب ما تكون لحالتها الحية التثبيت (Fixation) ، وهى عملية كيميائية تستعمل فيها مواد معينة تسمى المثبتات (Fixatives) . ويعتمد اختيار المثبت على طبيعة الدراسة والغرض منها . فعلى سبيل المثال ، إذا كان المطلوب دراسة النواة والكروموسومات ، تستخدم عادة المثبتات الحمضية بينما يستخدم الأسيتون والفورمالدهيد مثلا لدراسة الإنزيمات ، وهى مواد تعمل على المحافظة على نشاط الإنزيمات وفعاليتها . وعلى أية حال ، فإن اختيار المثبتات يجب أن يكون بطريقة تؤدى إلى ترسيب البروتينات فى أدق صورها حتى لا يحدث أى تغير فى مظهر الخلية . وأفضل المثبتات البروتينية هى التالية :

**الفورمالين ( الفورمالدهيد ) : Formalin "formaldehyde"**

يتفاعل الفورمالين مع بروتينات الأنسجة بطرق عديدة ومعقدة وذلك لأنه يستطيع الاتحاد بالعديد من المواد التى تترسب فى الخلايا والأنسجة . وجدير بالذكر أن الكثير من تلك التفاعلات عكسية ، وتتم تحت تأثير عوامل بسيطة مثل الغسيل .

وأهم تفاعلات الفورمالين هى التى يتم فيها تحول أحد المركبات الذى يحتوى على ذرة هيدروجين فعالة ( أى شديدة التفاعل ) إلى مجموعة هيدروكسيل .



ومركب الهيدروكسيل فعال أيضا ويمكن أن يتكاثف مع ذرة هيدروجين أخرى لتكوين وصلة ميثيلين (-CH<sub>2</sub>-) metylene bridge



وتتمزق هذه الوصلات الميثيلينية بالتميز أو التحلل المائى . وقد تتكون الوصلات الميثيلينية بين مجموعتين متماثلتين مثل مجموعتين أمينيتين NH<sub>2</sub> ، أو بين مجموعة أمينية NH<sub>2</sub> وثنائى بيتيد أو مجموعة أمينية ، NH<sub>2</sub> .

يتفاعل الفورمالين مع الكيراتين (Keratin) بين الأس الهيدروجيني ٦ ، ٨ ( والكريراتين هو أحد المكونات الرئيسية في الجلد والشعر ) ، وذلك دون التأثير في رابطات الكبريت S-S في السيستين . غير أنه في الوسط الأكثر قلوية يعمل على اختزال مجموعة ثنائي الكبريت (S-S) إلى مجموعتي كبريت هيدروجيني SH ، وينجم عن ذلك تفاعله معهما مكونا ، في بعض الأحيان ، وصلة ميثلينية (S-CH<sub>2</sub> - S) في المكان الأصلي لرابطة الكبريت الهيدروجيني المزدوج .

تشمل المجموعات التي تدخل في عمليات تثبيت البروتينات على الببتيدات (Peptides) ومجموعة الهيدروكسيل ومجموعة الكربوكسيل وكذلك البروتينات الكبريتية .

ويمكن إزالة معظم الفورمالين الذي يبقى مرتبطا بالبروتين بعد عملية التثبيت بواسطة الغسيل بالماء الجاري لمدة تصل إلى ٢٤ ساعة . وعلى الرغم من ذلك تظل آثار بعض الفورمالين باقية في الأنسجة . وقد يمنع هذا الفورمالين المتبقى إعداد الأنسجة بطريقة جيدة ، ولهذا يتحتم غسل العينات المثبتة في الفورمالين غسلا كافيا بالماء المقطر وذلك للتخلص من بقايا الفورمالين الموجود في الأنسجة .

وقد عرفت تأثيرات الفورمالين على مكونات الأنسجة لأول مرة عن طريق الصباغة وصناعات الصوف حيث أن الكولاجين والريتيكولين ( الألياف البروتينية الشبكية ) مادتان هامتان في هذا المجال . وقد تمت بعض البحوث تحت ظروف هستولوجية لا بأس بها ( على سبيل المثال عند توفر أس هيدروجيني يتراوح بين ٤ ، ١٠ في درجات حرارة مختلفة ) ؛ وقد وجد أن الفورمالين المرتبط بالبروتينات المختلفة قد نقص بشكل واضح عندما ارتفع الأس الهيدروجيني إلى ١٠ ؛ ويستخدم الفورمالين دائما في الدراسات الهستولوجية والسيتولوجية في محاليل محايدة عند نقطة التعادل أو فوقها ويؤدي ذلك إلى زيادة فاعلية الفورمالين ويعزى ذلك إلى أن التركيب المتبلر للفورمالين يوجد في الماء على صورة مميثة في هيئة جليكول الميثيلين (CH<sub>2</sub> (OH)<sub>2</sub> mathylene glycol

وترجع أهمية تلك الملاحظات بالنسبة للأعمال السيتولوجية والهستوكيمائية إلى أن معاملة البروتينات بواسطة الفورمالين ، والذي يعقبه غسل العينات غسلا كافيا بالماء المقطر جدير بأن يجعل البروتينات في حالة تمكنها من التفاعل بكفاءة مع أي صبغة أو أي مادة كيميائية .



## الكحول والأسيتون Alcohol and acetone

يعمل الكحول والأسيتون على ترسيب البروتينات . ويستخدمان على نطاق واسع فى الدراسة الهستوكيميائية للإنزيمات . وعلى الرغم من التغيرات الشكلية التى يحدثها كل من المركبين فى الخلايا إلا أنهما لا يحدثان أى تغيير فى المجموعات الإنزيمية وفاعليتها على أنه يتعين الإشارة إلى أن تفاعلات الكحول والأسيتون على البروتينات تفاعلات عكسية ، ويمكن للبروتينات أن تستعيد خواصها الأصلية عند إبعاد العوامل المؤثرة ( الكحول أو الاسيتون ) عنها .

## الأيونات والمركبات المعدنية: Metallic ions and complexes

يتركز اهتمام العاملين فى مجال الخلايا والأنسجة بصفة خاصة على كل من الكروم والزنبق والأوزمبيوم .

### الكروم : "Chromium"

لمثبتات الكروم خاصية تكوين مركبات معينة مع الماء ، وتتحد تلك المركبات مع المواد البروتينية مكونة مركبات أخرى شبيهة بالتى تتكون تحت تأثير الفورمالين . ويعتمد تفاعل الكروم إلى حد كبير على الأس الهيدروجينى لوسط التفاعل فقد وجد أنه عندما يتراوح الأس الهيدروجينى بين ١ ، ٤ تزداد كمية الكروم المرتبطة بالكولاجين ؛ كما وجد أيضا أن كمية الكروم التى ترتبط بزالال البيض ترتفع بشكل كبير عندما يتغير الأس الهيدروجينى من ٤ الى ٧ وبصورة عامة فقد استقر الرأى على أن الأس الهيدروجينى للوسط الذى يستخدم فيه الكروم يكون عند درجة أقل من ٢.٩ .

والملاحظ أن المثبتات التى تحتوى على الكروم تعطى نتائج حسنة فى حالة الجليكوجين والدهون (Lipids) والأحماض النووية وكذلك فى تثبيت الميتوكوندريا والحفاظ عليها .

### الزئبق : "Mercury"

تستخدم أملاح الزئبق على نطاق واسع فى إعداد العينات الهستولوجية والسيولوجية للأغراض العادية . وتكون المركبات الناتجة عن تفاعل الزئبق مع البروتينات أكثر ثباتا من مثيلاتها التى تتكون من تفاعل المعادن الأخرى مع البروتينات .

ويتخلف عن التثبيت بواسطة المثبتات الزئبقية رواسب زئبقية تبدو واضحة فى

الخلايا والأنسجة ، ولكن يمكن التخلص من تلك الرواسب باستخدام محلول الأيودين ، الذى يعقبه غسيل كاف بمحلول ثيوسلفات الصوديوم ( الهيبو ) الذى يعمل بدوره على إزالة ما يتواجد من بلورات الأيودين . وفى النهاية يتم التخلص من محلول الهيبو بغسل العينات غسلا كافيا بالماء المقطر .

وبالنسبة لدور الزئبق وتأثيره على الأنسجة وبخاصة على محتوياتها البروتينية يجب أن تعرف أن أيونات الزئبق  $Hg^{++}$  تشبه فى سلوكها سلوك الأيونات المعدنية الأخرى من ناحية اتحادها بالمجموعات الحمضية للبروتينات وبخاصة مجموعات الكربوكسيل والهيدروكسيل وحامض الفسفوريك الموجود فى المركبات البروتينية النووية .

ويختلف الزئبق عن الكروم فى أنه لا يستطيع تكوين مركبات لها القدرة على ربط السلاسل البروتينية المتجاورة ، كما يختلف عن معظم المعادن الأخرى فى قابليته للارتباط بمجموعات الهيدروجين الكبريتية SH . فإذا وجدت كمية ، مهما كانت طفيفة من هذه المركبات ، فإنها تتفاعل مع الزئبق وتكون الرابطة الناتجة عن هذا الاتحاد أقوى منها فى حالة الاتحاد بين الزئبق وأية مجموعات أخرى . وقد أمكن لبعض الباحثين إعداد جزء من المصل الزلالى يحتوى على مجموعة هيدروجينية كبريتية واحدة فى الجزئ . وعندما ترك هذا ليتفاعل مع ملح الزئبق ، وجد أن البروتين الناتج يحتوى على نصف ذرة زئبق لكل جزئ من انزال . ويمكن توضيح التفاعل الحادث فى هذه الحالة كالآتى :



(Protein mercaptide)



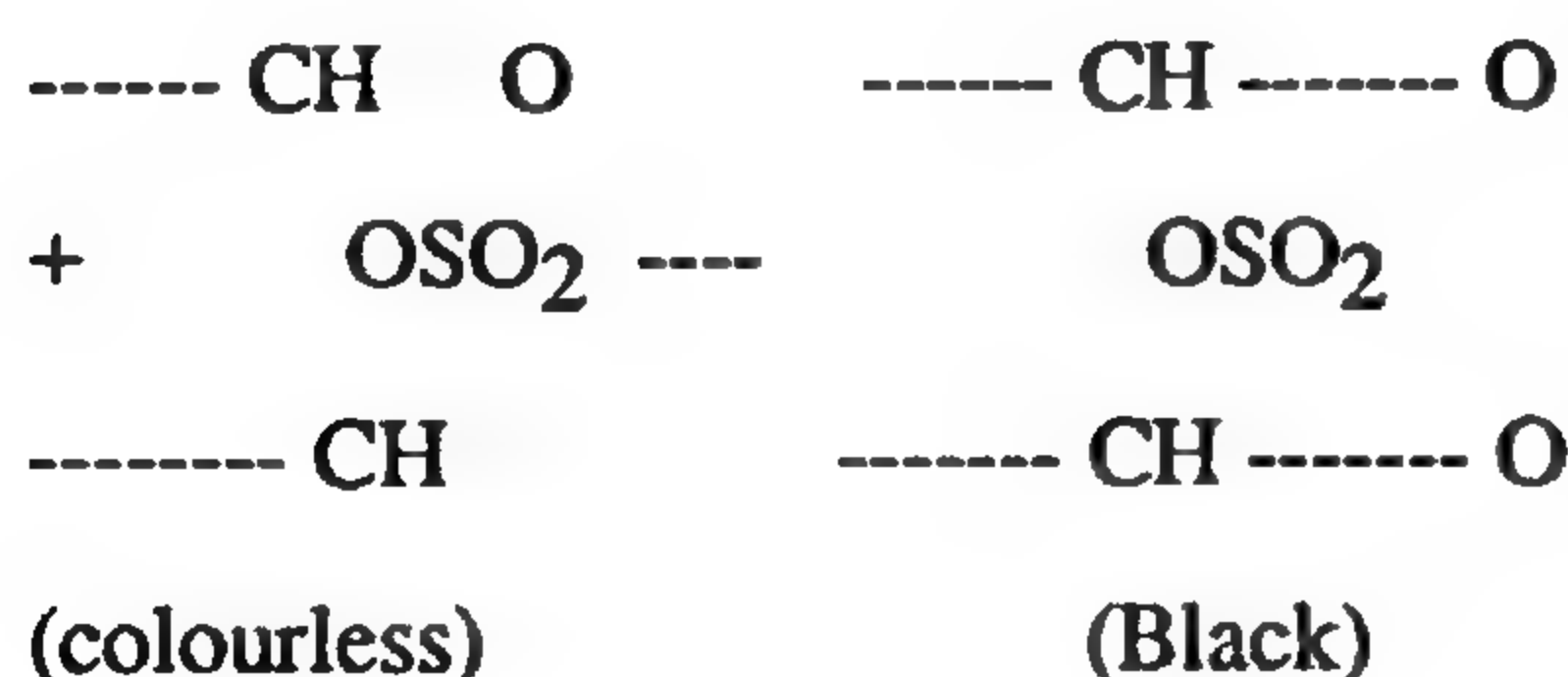
والتفاعل الثانى بطئ . وكلا التفاعلين عكسيان ، وبينما يمكن عكس التفاعل الثانى بأى تفاعل وينتج عن ذلك مركب زئبقى غير متحلل ، إلا أن التفاعل الأول يعكس فقط بواسطة مواد كاشفة ( مثل السستين Cysteine ) الذى يكون مشتقات زئبقية ثابتة . وتجدر الإشارة إلى أنه فى حالة التحضيرات المحتوية على بروتينات فليست جميع مجموعات الهيدروجين الكبريتية الموجودة تستعمل فى التفاعل . وفى الدراسات المتعلقة بكيمياء الخلية يبرز سؤال على درجة كبيرة من الأهمية وهو : هل تفاعل الزئبق مع للمجموعات البروتينية المختلفة قابل للإعكاس بالعمليات المعتادة مثل الطمر فى الشمع

والغسيل وإزالة الرواسب الزئبقية بواسطة الأيودين والهيبيو ؟ والواقع أن الدراسات الخاصة بتلك النواحي لم تتم بعد وإن كان من المؤكد أن بعضا من الزئبق يبقى مرتبطا بالمجموعات الحمضية فى البروتينات النووية ، ومن المحتمل أيضا أن بعضه يبقى مرتبطا مع مجموعات الكبريتات الهيدروجينية . وعلى ذلك فمن المستحسن تحاشى استخدام المثبتات الزئبقية فى تحضيرات كيمياء الخلية عندما يراد دراسة الأحماض النووية أو مجموعات الكبريتات الهيدروجينية بدقة تامة . ويمكن فى هذه الحالة استخدام تفاعلات بروتينية أخرى مثل ميلون (Millon) وساجوشى (Saguchi) وملح تترازوليوم .

### الأوزميوم "Osmium"

يستخدم عادة حامض الأوزميك ( رباعى الأوزميوم  $\text{OSO}_4$  ) كمثبت سيتولوجى وبخاصة لتوضيح جهاز جولجى والميتوكوندريا . ولكن استخدامه فى الدراسات الهستولوجية ( دراسة الأنسجة ) محدود جدا لبطء اختراقه للتراكيب الداخلية ، غير أنه يلقى الآن اهتماما شديدا بسبب استخدامه فى تحضير العينات المطلوبة للفحص بالميكروسكوب الالكترونى .

وبالنسبة لدور الأوزميوم فى التثبيت فيعتقد أن الدهون غير المشبعة تختزل رباعى الأوزميوم مكونة مركبات داكنة اللون تحتوى على الأوزميوم أو هيدروكسيده . وقد يرجع السبب فى ذلك إلى أكسدة الروابط المزدوجة (double bonds) بين ذرات الكربون المتجاورة .



وقد وجه پورتر (Porter) فى عام ١٩٥٣ أن نسبة ٢ ٪ من حامض الأوزميك تكون مركبات جيلاتينية مع الزلال ( الألبومين ) والجلوبولين والفيبرينوجين . وتعتبر المادة الجيلاتينية الواضحة التى تتكون ببطء نسبى مع الألبومين دليلا على ارتباط خيطى (miceller) أو ارتباط وحيد الجزئ . ويعتقد ولمان "Wolman" (١٩٥٥) أن

اطالة وقت التثبيت ينتج عنه تلف واضح لارتفاع معدل الأكسدة ، كذلك فإنه من المعروف تماما أن الكحول يمكن أن يستخلص الأغشية الميلينية التي تحيط كلية بالألياف العصبية ، ولكن هذا لا يحدث إذا سبق معاملة الأنسجة بحامض الأوزميك . وقد فسر ذلك على أنه نتيجة للارتباط التام الذي يحدث بين الدهون ( الليبيدات ) والبروتينات .



## الفصل الثالث

### البروتوبلازم The protoplasm

البروتوبلازم هو المادة الحية التى تتكون منها جميع الكائنات الحية ؛ حيوانية كانت او نباتية والتى بدونها تنعدم الحياة ، ولهذا فقد عرفه هكسلى (Huxley) فى عام ١٨٦٨ على أنه " الأساس الطبيعى للحياة " إذ أن جميع الوظائف التى يقوم بها الكائن الحى ترجع إلى التغيرات الكيميائية والفيزيكية التى تحدث فى البروتوبلازم .

ويطلق لفظ بروتوبلازم على المواد المختلفة التى يتكون منها كل من السيتوبلازم والنواة ، أما المحتويات غير الحية مثل حبيبات المح (Yolk granules) فى البويضات وحبيبات الإفراز (secretory granules) فى الخلايا الغدية وغيرها فتوجد فى السيتوبلازم نتيجة لنشاط السيتوبلازم أو النواة أو كليهما . ومعنى ذلك أن تلك المواد تتكون نتيجة لنشاط البروتوبلازم لكنها لا تشكل جزءا منه ، ويطلق عليها بصورة عامة المواد " غير الحية " (metaplasm or deutoplasm) . وتختلف مادة البروتوبلازم من نوع من الخلايا إلى نوع آخر . وهى مميزة لخلايا الأعضاء والأنسجة المختلفة .

### التركيب الكيميائى للبروتوبلازم : Chemical composition of protoplasm

إن التركيب الكيميائى للبروتوبلازم غير معروف على وجه الدقة إذ لا يمكن تحليل البروتوبلازم دون قتله بواسطة مواد كيميائية ، وبهذا تحدث فيه تغيرات كيميائية ، كما أن البروتوبلازم يحتوى فى العادة على بعض افرازاته وبذلك لا يكون تحليله دقيقا . علاوة على هذا فإن البروتوبلازم يختلف من نوع من الخلايا الى نوع آخر ؛ فبروتوبلازم الخلية الكبدية يختلف عن مثيله فى الخلية العصبية وهكذا . إلا أنه على الرغم من ذلك فقد أثبتت التحاليل الكيميائية بأن البروتوبلازم فى جميع الأنسجة يحتوى على الكربون والهيدروجين والاكسجين والأزوت بنسب مختلفة ، كما أن به عناصر أخرى مثل الكالسيوم والكبريت والفسفور والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والحديد والكلور . وتتحد بعض العناصر مع بعضها مكونة موادا عضوية كالبروتينات . والكربوهيدرات والدهون أو مواد غير عضوية مثل الأملاح غير العضوية (أو الأيونات المعدنية ) والماء .

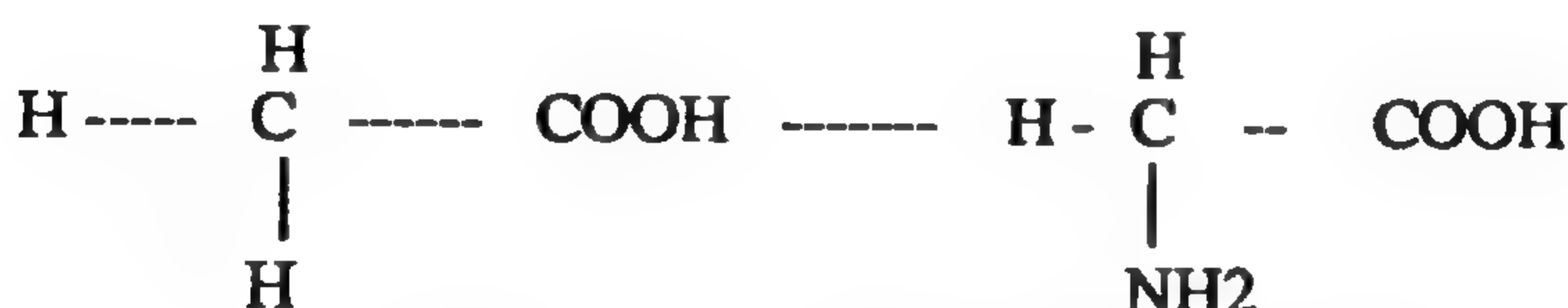
## المركبات العضوية فى الخلية : Organic components of the cell

### أ - البروتينات " Proteins "

البروتينات هى أكثر المركبات العضوية انتشارا فى البروتوبلازم الحيوانى . والبروتينات مميزة للمادة الحية والمواد المشتقة منها ، كما أنها تلعب دورا هاما فى بناء الأنسجة .

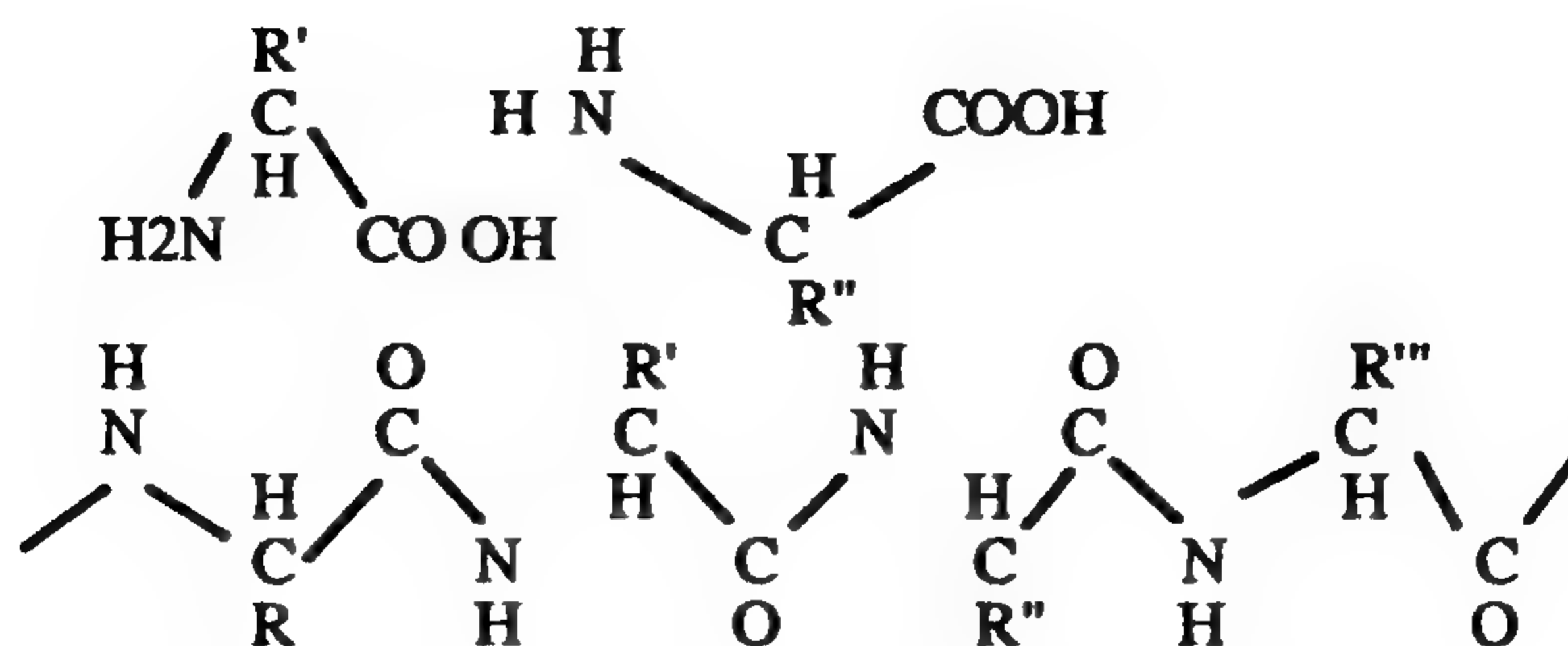
وتشتمل البروتينات على الكربون (C) والهيدروجين (H) والأكسجين (O) والنيتروجين (N) ، بالإضافة إلى كميات ضئيلة من الكبريت (S) والفوسفور (P) أو غيرها من العناصر . وجزئيات البروتين معقدة التركيب ووحداتها التركيبية هى الأحماض الأمينية (amino acids) التى تتميز بقابليتها الشديدة للاتحاد مع بعضها فى أنماط مختلفة ، كما يمكنها الاتحاد مع غيرها من المواد فينتج عن ذلك عدد كبير جدا من البروتينات ولذلك فإنه من المتعذر وضع صيغة كيميائية للبروتوبلازم .

والأحماض الأمينية هى أحماض عضوية تحتوى على مجموعة الأمينية ( $-NH_2$ ) amino group ؛ وبعبارة أخرى ، فإن الأحماض الأمينية مشتقة من الأحماض الأليفاتية ، مثل حامض الخليك ( $CH_3 COO H$ ) وذلك باستبدال ذرة ألفاهيدروجين بمجموعة الامونيا :



Acetic acid      Amino acetic acid (Glycine)

ويمكن للأحماض الأمينية أن تتحد ببعضها مكونة سلاسل طويلة ؛ وترجع هذه الخاصية إلى وجود مجموعة الكربوكسيل الحمضية ( $-COOH$ ) ومجموعة الامونيا القاعدية ( $-NH_2$ ) فى كل جزيء من جزئيات الحمض الأمينى . ويطلق على مثل تلك المواد التى تحتوى فى نفس الوقت على مجموعة حمضية ومجموعة قاعدية اسم المواد متردد الخواص أى ذات التفاعلين " قاعدة حمض " (amphoteric) ويتم اتحاد الأحماض الأمينية لتكوين جزيء من البروتين بطريقة معينة يحدث أثناءها اتحاد الشق الحمضى فى أحد الجزئيات بالشق القاعدى فى الجزيء الذى يليه مع فقدان جزيء من الماء :



( تمثل كل من R' , R' , R' الشق في كل حمض نووي )

وترجع أهمية البروتينات في النشاط البروتوبلازمي جريا إلى خواصها المترددة ؛ فهي قد تعمل - تحت ظروف خاصة - كقواعد أو تعمل كأحماض ، وعلى وجه العموم فإنها تعمل أثناء الحياة كمركبات حمضية .

وللأحماض الأمينية أهمية فسيولوجية كبيرة ، وذلك لأن البروتينات الموجودة في المواد الغذائية تتحول إلى أحماض أمينية أثناء عملية الهضم . ويتم ذلك بمساعدة بعض الأنزيمات على الوجه الآتي :

البروتينات (Proteins) ← بروتينوزات (Proteoses) ← بيتونات (Peptones) ← عديدة الببتيدات (Polypeptides) ← ثنائية الببتيدات (Dipeptides) ← أحماض أمينية (amino acids) . وتمر هذه الأحماض الأمينية إلى الدورة الدموية التي تحملها إلى الخلايا حيث يتم تحويلها إلى بروتينات حيوانية (أي بروتينات خاصة شبيهة ببروتينات الجسم) وذلك تحت تأثير بعض الأنزيمات الخلوية . ويمكن الحصول على الأحماض الأمينية من البروتينات بواسطة التحلل المائي (hydrolysis) في وجود الأحماض أو القلويات أو الأنزيمات الهاضمة . ويتكون من الأحماض الأمينية الطليقة (الحرة) ما يسمى بركة الأحماض الأمينية (amino-acid pool) التي تتخير منها كل خلية احتياجاتها لتبنى لنفسها البروتينات اللازمة لها . ومن ذلك يتضح أن البروتينات هي المسئولة عن إضافة مواد جديدة تساعد الكائن الحي على النمو أو على تعويض ما يتلف أو يفقد من جسمه .



## أنواع البروتينات "Types of proteins"

يمكن تقسيم البروتينات إلى ثلاثة أنواع :

١ - بروتينات بسيطة (Simple proteins) وتعطى عند تحليلها أحماضا امينية فقط . وأهم هذه البروتينات : الالبومين والجلوبيولين والهستونات والبروتامينات :

أ - الألبومينات (Aloumins) وهى تذوب فى الماء وتتجلط بفعل الحرارة .

ب - الجلوبيولينات (Gobulins) وتذوب فى الأحماض والقلويات ومحاليل الاملاح ولكنها لا تذوب فى الماء .

ج - الهستونات (Histones) وتذوب فى الماء ولكن لا تذوب فى الأمونيا المخففة . وقد تتحد الهستونات مع الأحماض النووية مكونة هستونات نووية كالتى توجد فى كثير من الخلايا كخلايا البنكرياس والغدة السيمنية .

د - البروتامينات (Protamines) وهى تذوب فى الماء ولكنها لا تتجلط بالحرارة ، وقد تتحد أيضا مع الأحماض النووية مكونة بروتينات نووية .

٢ - البروتينات المرتبطة (Conjugated proteins) وتشتمل على الانواع التى يكون فيها أحد البوتينات البسيطة متحدا بمادة أخرى . وتوجد من البروتينات المرتبطة الانواع التالية :

أ - البروتينات النووية (Nucleo proteins) وتنتج عن اتحاد البروتين مع الأحماض النووية . وتلعب هذه المركبات دورا هاما فى الأنشطة الحيوية للخلية ، كما أنها المكونات الأساسية للكروموسومات . وتختلف الكائنات الحية عن بعضها تبعا لاختلاف محتوياتها من هذه البروتينات .

ب - البروتينات السكرية (Clycoproteins) أو المخاطية (Mucoproteins) . وتكون فيها البروتينات متحدة بمادة كبريهيدراتية مثال ذلك المادة المخاطية (mucin) .

ج - البروتينات الدهنية (Lipoproteins) وتشتمل على مجموعة من المواد ذات الأهمية البيولوجية البالغة التي تتميز بالوانها المختلفة . ويتبع هذه المجموعة الهيموجلوبين والهيوسيانين وسلسلة من الانزيمات التنفسية مثل انزيمات السيتوكروم وبروتينات الفلاين .

٣ - البروتينات المشتقة (Derived proteins) وتشتمل على البروتينات المتجلطة والبروتينات المتحللة جزئيا ومنها البروتيازات (proteases) والبيتونات (peptones) وعديدات الببتيد (polypeptides) .

### دور البروتينات كدعامات ميكانيكية :

Role of proteins as mechanical support

تعتبر البروتينات من أهم المواد التي تدخل في التركيبات الهيكلية ذات الأهمية الكبيرة في تكوين الدعامة الميكانيكية للجسم وذلك مثل الألياف البيضاء والألياف الصفراء والغضاريف والعضلات والقشور ( الحراشيف ) والأشعة الزعنفية .

بالإضافة الى ذلك فقد أوضح ميكروسكوب الاستقطاب الضوئي (Polarization microscope) وجود خيوط ( بروتينية ) بالغة الدقة في كثير من التراكيب ، وذلك مثل الأهداب والأسواط والجزئيات العضلية في الأوليات ، وفي ذبول الحيوانات المنوية والأشعة النجمية والخيوط المفزلية . كما تحتوى الأهداب المتحركة وجذيراتها على حبيبات بروتينية مترتبة في الاتجاه المحورى لهذه الأجسام .

ويرى كثير من علماء الخلية أن هناك تركيبا داخليا في الخلية يطل عليه هيكل الخلية (Cytoskeleton) يتكون من شبكة من الخيوط الدقيقة المنتشرة في أنحاء السيتوبلازم والتي يعزى اليها تدعيم البروتوبلازم والحفاظ على خواصه الميكانيكية . بالإضافة الى هذا فإنها مسئولة عن تغير الحالة الطبيعية للبروتوبلازم من الحالة الصلبة الى السائلة وبالعكس .

ويمكن مشاهدة هذه البروتينات الشبكية بوضوح في بعض الكائنات مثل البلازموديوم ، فعند ما يضغط هذا الكائن بآبرة دقيقة تظهر خيوط مرنة تقاوم ضغط الإبرة . بالإضافة إلى ذلك فإن بعض العلماء يرون أنه يوجد تركيب بروتينى معين يسمى الـليبسين (ellipsin) تبقى في الخلية بعد أن تزول منها جميع المحتويات البروتينية

الذائبة . وتكون هذه المادة اساسا لبعض التراكيب الخلوية الدائمة مثل بروتينات النواة والسيتوبلازم .

#### ب - المواد الكربوهيدراتية (CARBOHYDRATES)

الكربوهيدراتات مركبات من الكربون والهيدروجين والأكسجين يكون فيها العنصران الأخيران متحدين بنسبة ١:٢ ، وهى نفس نسبة وجودهما فى الماء . وأهم هذه المركبات فى الجسم سكر العنب ( الجلوكوز ) (glucose) وسكر اللبن الأحادى ( جالاكتوز galactose ) والجليكوجين (glycogen) . وتحول الكربوهيدرات التى يحصل عليها الجسم إلى سكريات بسيطة قبل امتصاصها . وتتم أكسدة تلك السكريات مكونة بذلك أهم مصادر توليد الطاقة الحرارية التى يستهلكها الجسم فى أداء وظائفه المختلفة .

ويمكن تقسيم المواد الكربوهيدراتية الى مواد أحادية التسكر وثنائية التسكر وعديدة التسكر ، ويطلق على النوعين الأول والثانى المواد السكرية بسبب حلاوة طعمها ، كما أنها قابلة للذوبان فى الماء والكحول والانتشار خلال الأغشية مشبعة المنفذة . أما المواد عديدة التسكر فهى على العكس من ذلك تكون مع الماء محاليل غروية ، كما أنها غير قابلة للتبلور ولا تنتشر خلال الأغشية شبه المنفذة .

المواد أحادية التسكر (monosaccharides) وهى سكريات بسيطة تركيبها العام ك<sub>n</sub>(يد<sub>٣</sub> أ<sub>n</sub>) . وأهم هذه المركبات فى الخلية الأنواع الخماسية والسداسية وهى توجد متحدة بالبروتينات والليبيدات . وتعتبر السكريات الخماسية من أهم مكونات الكروماتين النووى . وتدخل هذه المجموعة ضمن تكوين حامض الريبوز الذى أكسى ريبوز النووين . أما الجلوكوز ( ك<sub>٦</sub> يد<sub>٦</sub> أ<sub>٦</sub> ) فهو السكر السداسى الذى يقوم بدور أساسى فى توفير الطاقة الحيوية اللازمة للجسم .

المواد ثنائية التسكر (disaccharides) : وتتكون من جزئين من المواد احادية التسكر مع فقدان جزئ من الماء :





ومن أهم هذه الأنواع سكر القصب ( سكروز Sucrose ) وسكر الشعير ( مالتوز maltose ) فى النباتات وسكر اللبن الثنائى أو اللاكتوز ( lactose ) فى الحيوانات .

ويتكون سكر الشعير من الجلوكوز ، أما جزئ سكر اللبن الثنائى فيتكون من جزئ جلوكوز وجزئ سكر لبن أحادى ( galactose ) . ويتكون جزئ قصب السكر من جزئ جلوكوز وجزئ سكر فواكه ( فركتوز Fructose ) .

سكر شعير = جلوكوز + جلوكوز .  
 اللاكتوز ( سكر لبن ثنائى ) = جلوكوز + سكر لبن أحادى ( جلاكتوز )  
 سكر قصب = جلوكوز + سكر فاكهة

المواد عديدة السكر ( polysaccharides ) : وهى تتكون من عدة جزئيات وحيدة السكر مع فقدان عدد مناظر من جزئيات الماء :

- ن يد ٢ أ

ن ك ٦ يد ١٢ أ ٦ ----- ( ك ٦ يد ١٠ أ ٥ ) ن

ومن أهم المركبات عديدة السكر : النشا والسليلوز فى النبات والجليكوجين فى الحيوان .

والنشا ( Starch ) ويمثل المواد الكربوهيدراتية المخزنة فى الخلايا النباتية . ويتم تكوينه من ثانى أكسيد الكربون والماء فى وجود الكلورفيل .

السليلوز : ( cellulose ) : وهو التركيب الأساسى فى جدار معظم الخلايا النباتية ، كما يدخل فى تكوين مجموعة من التراكييب التى تكون الدعامة الهيكلية للنباتات .

الجليكوجين ( Glycogen ) : ويمكن اعتباره نشا حيوانيا حيث يمثل المواد الكربوهيدراتية المخزنة فى خلايا الحيوان . وهو مادة ذات أهمية بالغة بالنسبة للحيوانات . ويوجد طليقا فى كثير من الأنسجة ويمثل مصدرا للطاقة فى الجسم . وعلى الرغم من وجود الجليكوجين فى كثير من أنسجة الجسم إلا أن الجزء الأكبر منه يوجد فى خلايا الكبد وخلايا العضلات ، وتختلف كمية الجليكوجين تبعا لنوع الغذاء ، ولكنه

يكون حوالي ٣ ٪ من الوزن الكلى للكبد . والجليكوجين فى حالة تحليل وتكوين بصورة مستمرة حيث يتم تكوينه من جزيئات الجلوكوز فى الكبد ومن حامض اللبنيك الذى ينتج فى الخلايا العضلية ( دورة باستير - ما يرهوف ) . كما أنه من الممكن أن يتكون من البروتينات والأحماض الأمينية .

والجليكوجين قابل للذوبان الى حد ما فى الماء ( ١٥ - ٢٠ ٪ ) ومن الممكن أن يذوب فى البروتوبلازم . ومن الصعب توضيح الجليكوجين فى الخلايا الحية ولكن يمكن ترسيبه باستخدام بعض المثبتات ثم يوضع بعد ذلك هستوكيميائيا بواسطة تفاعل الأيودين الذى يعطى معه لونا أحمرانيا . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن الجليكوجين يعطى لونا احمر مع صبغ بست كارمين (Best carmine) كما يعطى لونا بنفسجيا داكنا مع تفاعل حامض بيرايوديك (PAS) .

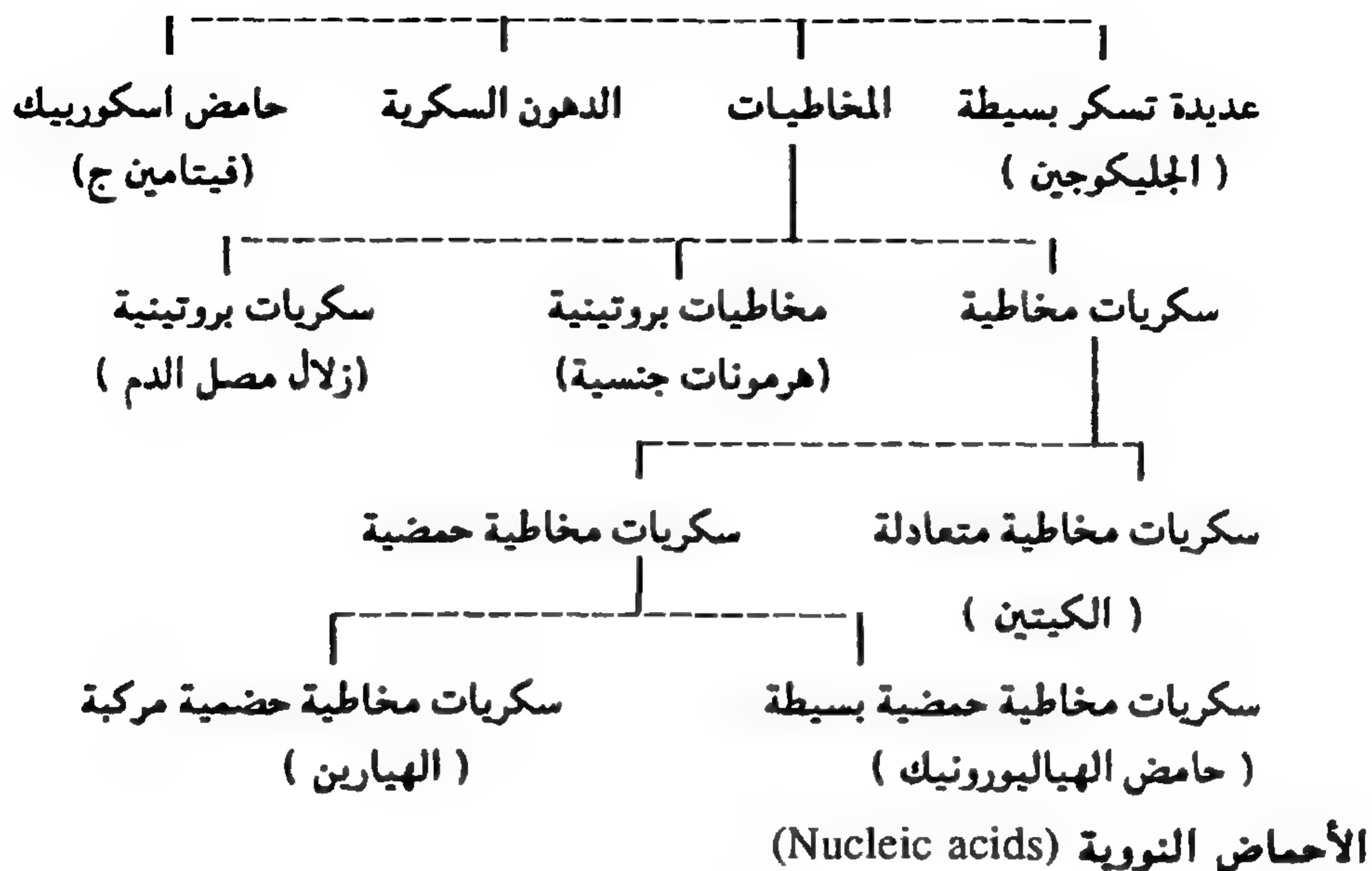
**السكريات المخاطية والمخاطيات الهروتينية والسكريات الهروتينية :**  
Mucopolysaccharides, Mucoproteins and Glycoproteins

تشمل هذه الأنواع على العديد من المركبات ذات الأهمية الكبيرة فى التنظيم الجزئى للخلية والمواد بين الخلوية .

فالسكريات المخاطية الحمضية ، وعلى الأخص منها حامض هياليورنيك ( hyaluronic acid ) وكبريتات الكوندريتين (chondroitin sulphuric acid) وكبريتات موكيتين (mucoitin sulphuric acid) لها أهمية خاصة من الناحية السيتولوجية . وتوجد هذه المواد الثلاث فى المادة الموجودة بين خلايا الأنسجة الضامة حيث تؤدي وظيفة ربط الأجزاء المختلفة وحمايتها . كما توجد هذه المواد أيضا فى الحبل السرى .

ويوجد حامض هياليورنيك فى السائل الزلالى فى المفاصل ، وفى الجسمين الزجاجى والمائى فى العين ، كما أنه يحيط بالكثير من الخلايا لحمايتها وإن كانت تسهل اذابته بواسطة إنزيم هياليورنيداز (Hyaluronidase) ويمكن تلخيص المواد عديدة السكر فيما يلى :

## عديدة التسكر



تكون المواد الكربوهيدراتية مع بعض المواد الأخرى مركبات معينة كالبروتينات والأحماض الأمينية وغيرها . ومن هذه المركبات ذات الأهمية الخاصة من الناحية السيتولوجية مجموعة الأحماض النووية .

والأحماض النووية مركبات كيميائية بالغة الأهمية ، وتوجد فى جميع الكائنات الحية على هيئة حامض أو على هيئة نوع آخر يسمى دى أكسى ريبونيوكلريك (ح ر ن) "RNA" ( Ribonucleic acid ) . وقد تحتوى بعض الفيروسات على حامض الريبونيوكلريك فقط مثال ذلك فيروس الطباق الموزايكى (Tobacco mosaic virus) وفيروس الشلل (Poliomyelitis virus) أو يحتوى بعضها على حامض دى اكسى ريبونيوكلريك فقط كأكلات البكتريا (bacteriophages) والفاكسينيا (Vaccinia) وأدينوفيروس (adenovirus) ؛ أما البكتيريا والحيوانات الراقية فتحتوى على كلا النوعين من الحامض النووى .

ويوجد ح د ن (DNA) في النواة ويكون معظم التركيب الكروموسومي ( حوالى ٩٠ - ٩٥ ٪) وذلك عندما تكون الخلية في حالة انقسام . أما في المرحلة البينية فيوجد ح د ن في الكروماتين . وفي النواة يتحد ح د ن مع البروتينات ( الببتونات والبروتامينات ) مكونا البروتينات النووية .



أما ح ر ن (RNA) فإنه يوجد فى السيتوبلازم كما يوجد فى النواة حيث يكون بكميات قليلة فى النويات والكروموسومات والكروماتين ( بينما يوجد بنسبة عالية فى السيتوبلازم حيث يكون جزءا كبيرا من الريبوسومات .

### مكونات الأحماض النووية : Components of nucleic acids

التركيب الكيميائى للأحماض النووية بالغ التعقيد ، وهى تتكون نتيجة ارتباط عدد كبير من الوحدات التى يطلق عليها نيوكليويدات (nucleotides) . وتتكون كل نيوكليويدة ( من ثلاثة جزيئات ، جزيئ سكر خماسى ( ريبوز دى اكسى ريبوز ) يتصل به من احد جانبيه جزيئ حامض فسفوريك ، ويتصل به من الجانب الاخر جزيئ نيتروجين قاعدى ( پيورين او پيريميدين ) .

ويطلق على السكر الخماسى والنيتروجين القاعدى فى النيوكليويدة اسم نيوكلوسيد . (nucleoside)

ويربط حامض الفسفوريك النيوكليتيدات معا عن طريق ربط السكر الخماسى فى كل نيوكلوسيدين متتابعين برابطة استرفوسفاتية (ester phosphate bond) .

ويشتمل السكر الخماسى على نوعين ، نوع لكل حامض من الحامضين النوويين : سكر ريبوز فى حالة الحامض النووى ريبونيوكليك ، وسكر دى أكسى ريبوز بالنسبة لحامض دى أكسى ريبونيوكليك . ولكل من النوعين من السكر حلقة خماسية تشتمل على خمس ذرات كربون .

وتشتمل البيريميدينات القاعدية (pyrimidine bases) بصورة أساسية على سيتوسين (cytosine)، ثيمين (thymene) ، يوراسيل (Uracil) . ويوجد السيتوسين فى كل من ح د ن ، ح ر ن بينما يقتصر وجود الثيمين على ح د ن ويقتصر وجود اليوراسيل على ح ر ن . وبذلك يختلف ح د ن عن ح ر ن ليس فقط فى تركيب جزيئ السكر ولكن أيضا فى واحد من البيريميدينات القاعدية .

وتشمل البورينا القاعدية (purine bases) على ادينين (adenine) وجوانين (guanine) وكلاهما موجود فى ح د ن ، ح ر ن . ومن الناحية التركيبية أو التنظيمية العامة يتكون جزيئ ح د ن من سلسلتين عديدتى النيوكليويدات تمتدان بعكس بعضهما ، وهما ملتويتان على شكل حلزونى تسير لفاته حول محور رأسى مفرد .

وتتصل السلسلتان معا عن طريق الروابط الهيدروجينية لنيتروجيناتها القاعدية تبعا لنظام خاص بحيث يرتبط الأدينين فى إحداهما بالثيمين فى الآخر والسيتوسين بالجوانين فى السلسلة المواجهة لها . ويجب ملاحظة أن تغير تتابع النيتروجينات القاعدية فى سلسلة ح د ن هو اساس المعلومات الوراثية .

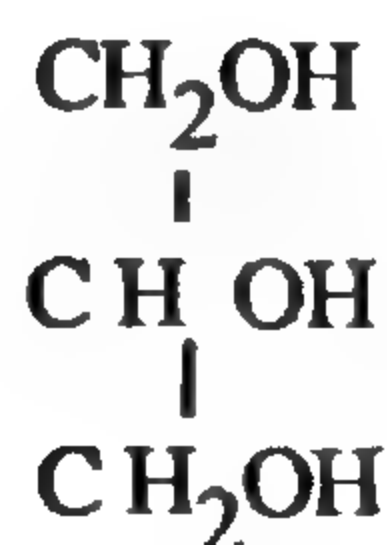
ويلعب ح ر ن دورا بالغ الأهمية فى تكوين البروتينات فى خلايا الجسم .

### ج - الليبيدات (Lipids) :

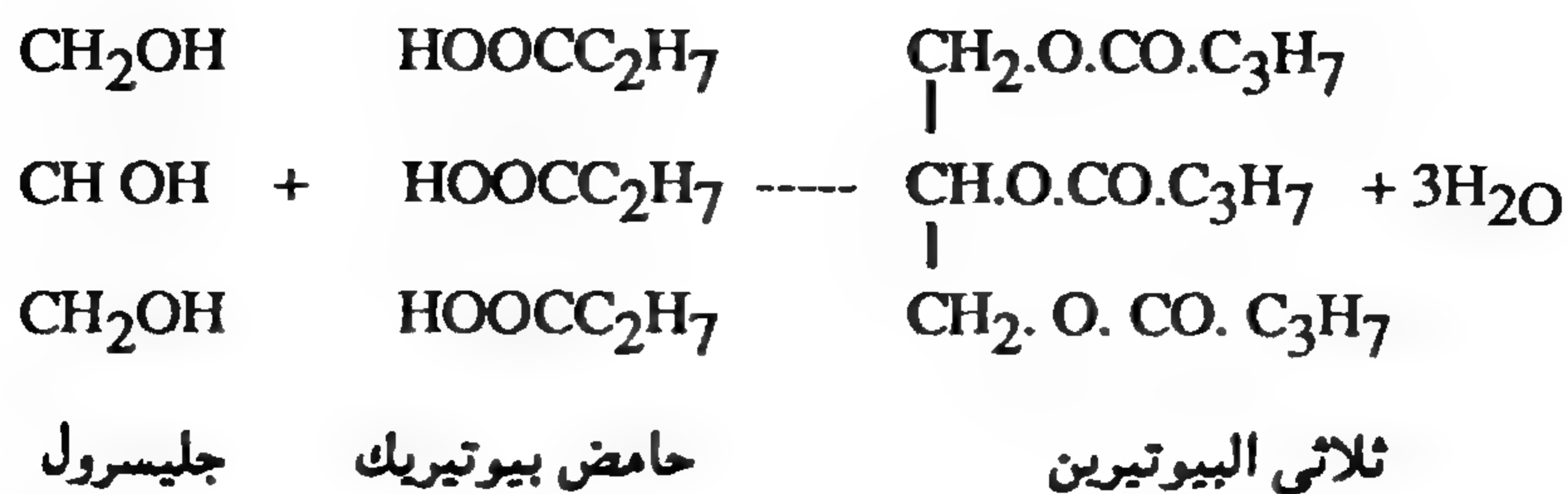
تضم المركبات الدهنية فى البروتوبلازم الدهون الحقيقية وعددا من المشتقات الأكثر تعقيدا كالفوسفوليبيدات وهى التى تحتوى على النيتروجين والفسفور - علاوة على الكربون والهيدروجين والأكسجين التى تتركب منها الدهون - والليبيدات غير قابلة تقريبا للذوبان فى الماء ولكنها تذوب فى المذيبات العضوية مثل البنزين واثير البتروليوم والكلورفورم .

ويمكن تقسيم الليبيدات الى الأنواع التالية :

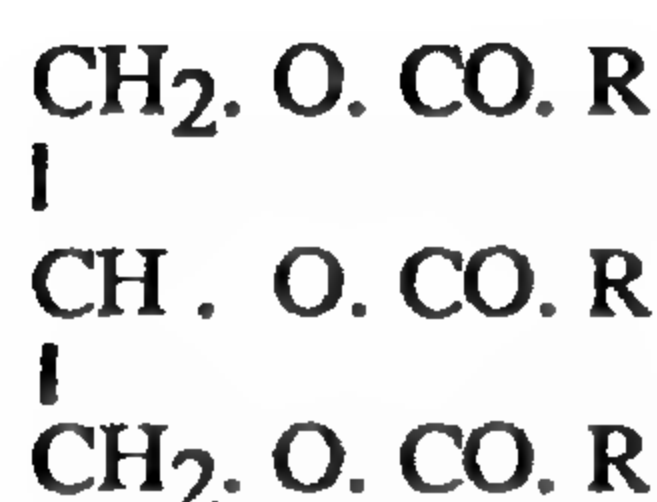
١ - **ليبيدات بسيطة (simple lipids)** وهى عبارة عن اىستيرات كحولية للأحماض الدهنية . وأهم هذه المركبات الدهون المتعادلة (neutral fats or glycerides) وتسمى عادة باسم الجليسيريدات الثلاثية (triglycerides) وهى اىستيرات ثلاثية للأحماض الدهنية مع الجليسرول . والجليسرول كحول ثلاثى التميؤ (trihydric) تركيبه وصيغته الكيميائية هى :



ويتحد جزئ الجليسرول مع ثلاثة جزيئات من الحامض الدهنى مكونا جليسرول ثلاثى ، فمثلا يتحد مع ثلاثة جزيئات من حامض بيوتيريك (Butyric acid  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ ) مكونا ثلاثى البيوتيرين (tributyryn) وهو أبسط أنواع الدهون ، ويوجد فى الزبد .



وعلى ذلك تكون المعادلة العامة للدهون هي :



حيث تختلف R حسب نوع الحامض الدهنى الموجود .

وتعمل الجلسريدات الثلاثية كمخازن للطاقة وتشتمل بصورة أساسية على الدهون ( الشحوم ) والزيوت . وتكون الأولى فى الحالة الصلبة عند درجة ٢٠° مئوية بينما تكون الثانية فى الحالة السائلة عند هذه الدرجة . وعند التحلل المائى لهذه المركبات بواسطة مادة قلوية فإنها تعطى أحماضا دهنية .

٢ - الستيرويدات (Steroids) وتشتمل على بعض المواد مثل الهرمونات الجنسية وهرمونات قشرة الكظر وفيتامين د وأحماض الصفراء .

وتعمل أحماض الصفراء على تمزيق البروتينات وتحويل الدهون إلى مستحلب ليسهل هضمها .

ويتكون كل ستيرويد من مجموعة حلقة أليفاتية (Aliphatic ring system) تشتمل على واحدة أو أكثر من الروابط الأليفاتية المزدوجة غير المشبعة وعدد من السلاسل الجانبية .

ويطلق على الستيرويدات التى تشتمل على مجموعة CH ستيروولات (Sterols) والكوليسترول (Cholesterol) أحد هذه الستيروولات واسعة الانتشار ويوجد فى الصفراء والمخ والغدد الكظرية وغيرها ، كما أنه المكون الرئيسى لدهن الصوف .



**الأرجوستيرون (Ergosterol)** وهو استيرول موجود فى النبات ويوجد ايضا تحت الجلد ويتحول إلى فيتامين د المضاد للكساح تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية فى الضوء .

٣ - الليبيدات المركبة أو المرتبطة (Complex or conjugated lipids) وتحتوى على النيتروجين أو الفسفور والنيتروجين بالإضافة إلى الكربون والهيدروجين والأكسجين الموجودة فى الدهون . وعلى ذلك فعند تحليل الليبيدات المركبة فانها تعطى علاوة على الكحول والأحماض الدهنية مركبات أخرى . ومن أمثلة الليبيدات المركبة ما يأتى :

أ - الفسفوليبيدات (Phospholipids) وهى دهون تحتوى على الفسفات والنيتروجين مثل الليسيثين (Lecithin) والسفالين (Cephalin) وسفينجوميلين (Sphingomyelin) واسيتال الفسفوليبيدات (acetal phospholipids) .

ب - الجليكوليبيدات (Glycolipids) أو السيريبروسيدات (Cerebrocides) وهى عبارة عن أحماض دهنية متحدة مع النيتروجين ومحتوية على مواد كربوهيدراتية . وتوجد الفسفوليبيدات والسيريبروسيدات فى الأنسجة العصبية بصورة خاصة كمكونات رئيسية فى الميلىن .

٤ - الكاروتينويدات " الليبوكرومات " (Carotenoids or lipochrones)

وهى صبغات خلوية حمراء وبرتقالية اللون لا تذوب فى الماء ولكنها تذوب فى المذيبات الدهنية ، ومنها الكاروتين (Carotene) الموجود فى الجزر والحشائش والزانشوفيل (Xanthophyl) فى الألياف وفيتامين أ وصبغ صفار البيض .

٥ - ليبيدات أخرى (Other lipids) وذلك شمل زانثوسيانين (Anthocyanin) الموجود فى النبات وشبيهات الميلاتين الفينولية المتبلرة والتى تذوب فى المذيبات العضوية .

**الدهون المرئية والمقنعة (Visible and masked lipids)**

ومن الناحية السيتولوجية فإن من الأمور بالغة الأهمية هو التمييز بين الليبيدات المرئية والليبيدات المقنعة . وتعرف الأنواع الأولى بأنها تلك التى يمكن توضيحها مباشرة كقطرات مضيئة تعمل على انكسار الضوء وتعطى نتائج موجبة عند الكشف عن الدهون باستخدام الصبغات الدهنية أو رباعى الأوزميوم . أما الليبيدات المقنعة فإنها لا تعطى

تفاعلا موجبا مع الطرق المذكورة آنفا إلا إذا تم تحرره أو إزالة الأقنعة البروتينية عنها بواسطة الإنزيمات الخاصة بتحليل البروتينات .

### أهمية الدهون فى الأنسجة الجسمية :

Significance of lipids in body tissues

تتوقف أهمية الدهون والدور الذى تلعبه فى الأنسجة الجسمية على موقعها وطريقة تواجدها فى تلك الأنسجة . فالجليسريدات تعمل كمخازن للطاقة الحرارية ( أى يعتمد عليها الحيوان كمصدر للطاقة فى صورة حرارة ) كما توفر الحماية ضد البرودة وأى أذى يلحق بالجسم . ويلعب الليسيثين دورا هاما فى المنشط الأيضية فى الكبد . وتوجد الفسفوليبيدات والسريبروسيدات بصفة أساسية فى النسيج العصبى كمكونات للميلين . وتعمل أحماض الصفراء على تحويل الدهون إلى مستحلب ، وبذلك تساعد فى هضمها . والكروليسترول هام فى تنظيم الخواص الميكانيكية للشعر وبشرة الجلد.

وتوجد الدهون فى كثير من أنسجة الجسم وفى مخازن الدهون حيث يكون الدهن مختزنا فيها على هيئة دهون متعادلة ( جليسريدات ثلاثية ) بينما تتكون دهون الأنسجة من نوعين ، دهون متعادلة وفسفوليبيدات حيث يوجد النوع الأول على هيئة دهون مختزنة بينما يوجد النوع الثانى كتركيب دهنى أساسى فى مادة البروتوبلازم .

وفى حالة الجوع ، تتناقص كمية الدهون المتعادلة فى الأنسجة بشكل واضح بينما لا تكاد تتأثر الفسفوليبيدات . فعلى سبيل المثال ، تظل محتويات أنسجة المخ من الفسفوليبيدات عند معدل مرتفع أثناء الصوم أو الجوع وذلك لأن الفسفوليبيدات فى أنسجة المخ ليست دهنا مختزنا ولكنها مواد ضرورية للمنشط الحيوية لهذه الأنسجة .

ومن ذلك يتضح انه يمكن تصنيف الدهون تحت قسمين رئيسيين :

أ - دهون دائمة (Constant fats) : وهى الفسفوليبيدات ، بصورة رئيسية وهذه لا تختفى أثناء الجوع .

ب - دهون متغيرة : (Variable lipids) وتمثل الدهون المختزنة والتى يستخدمها الجسم اثناء الجوع أو الصيام . وقد أظهرت البحوث الحديثة ان الفسفوليبيدات ، خاصة فى الكبد ، قد تختزن على هيئة مركبات معقدة من الفسفوليبيدات والبروتينات المتحدة مع الأحماض النووية (nucleoproteins) وتلعب هذه

المركبات دورا رئيسيا فى عملية الأيض (Cellular metabolism) وقد تستخدم أثناء الجوع أو الصيام .

ويزداد معدل الدهون فى الكبد بشكل واضح فى بعض الأحوال كحالات التسمم بالزرنيخ أو الفسفور أو رباعى كلوريد الكربون أو بعض العقاقير الأخرى أو الإصابة بحالات مرضية معينة . ويلعب الكبد على وجه العموم دورا بالغ الأهمية فى عملية الأيض الخاصة بالدهون ، فيحتوى الكبد العادى على حوالى ٤ ٪ لبييدات منها ٢٥ ٪ دهون أساسية ، ٧٥ ٪ فسفوليبيدات . ويزداد معدل الدهون فى الكبد خلال الفترات الأولى للتصويم أو التجويع وذلك لأن المواد الدهنية ترد من مخازن الدهون فى الجسم إلى الكبد لأكسدها . وعندما يستنفذ الدهن المخزون فإن المحتوى الدهنى للكبد يأخذ تدريجيا فى النقصان .

#### المكونات غير العضوية فى الخلايا : Inorganic components of the cells

توجد المحتويات غير العضوية فى البروتوبلازم على هيئة أملاح متحدة مع البروتينات أو الكربوهيدرات أو الليبيدات . وقد تتحد مع الأحماض الأمينية مكونة هرمونا ( مثل الثيروكسين ) ، أو مع البروتينات مكونة مركبات معينة مثل الهيموجلوبين ( الحديد ) أو السيتوكروم ( الحديد ) أو الهيموسيانين ( النحاس ) وغيرها ، كما تتحد مع البيورينات أو البريميدينات والسكر الخماسى فى النيوكليوتيدات (Nucleotides) .

وتتحلل الأملاح إلى أنيونات (anions) مثل الكلور ( كل :  $Cl^-$  ) وكاتيونات (cations) مثل الصوديوم ( ص :  $Na^+$  ) والبوتاسيوم ( بو :  $K^+$  ) وهى مهمة جدا فى تنظيم الضغط الأسموزى والمحافظة على التوازن الحمضى - القاعدى للخلية .

ويختلف تركيز الأيونات المختلفة فى المادة داخل الخلية وخارجها ، فعلى سبيل المثال تحتوى الخلية على نسبة مرتفعة من البوتاسيوم - بو  $K^+$  ، المنجنيز - م  $Mg^{++}$  ( ) ، بينما يوجد كل من ص  $+$  ، كل - بصورة أساسية فى السائل الموجود خارج الخلايا . والأنيون (anion) السائد فى الخلايا هو الفوسفات ، كما يوجد أيضا بعض البيكربونات .



ويوجد الكالسيوم فى الدم وفى الخلايا على هيئة أيونات طليقة . أما فى حالة العظم فيوجد الكالسيوم متحدا مع أيونات الفوسفات والكربونات ، وتوجد أيونات الفوسفات أيضا فى الدم وفى سوائل الجسم ، ويوجد معظمها متحدا مع الليبيدات مكونا الفسفوليبيدات ، ومع السكر الخماسى والنيتروجينات القاعدية فى النيوكليوتيدات ، كما يوجد متحدا مع البروتينات . وبالإضافة إلى هذا فإن أنسجة الجسم يوجد بها أيونات أخرى مثل الكبريتات والكربونات والبيكربونات والمغنسيوم والأحماض الأمينية .

وفى بعض الأجزاء يكون الحديد غير متأين كما هو الحال فى الهيموجلوبين والسيتوكرومات وبعض الانزيمات كإنزيم كاتاليز (Catalase) وسيتوكروم أكسيداز (Cytochrome oxidase) .

ويجب أن يتوافر عدد من الأيونات المختلفة بصورة متوازنة حتى يمكن الحفاظ على الأنشطة الخلوية العادية .

الماء (Water) :

يلعب الماء دورا بالغ الأهمية فى حياة الخلية . ولا توجد مادة تفوق أهميتها أهمية الماء فى الكائن الحى . فهو يعمل كمذيب طبيعى للأيونات المعدنية وغيرها . وهو وسط للتفاعلات الحيوية ويشارك فى التفاعلات عن طريق التحلل المائى (التميو hydrolysis) أو الانتزاع المائى (dehydration) . ويعمل الماء كوسط تشتتى أو انتشارى له أهمية كبيرة بالنسبة للطبيعة الغروية للبروتوبلازم .

والماء مهم أيضا بالنسبة لعمليات تبادل المواد بين الخلية والوسط المحيط بها ، كما فى حالة عمليات التبادل التى تتم بين الخلايا واللمف .

ويستعمل الماء فى امتصاص الحرارة نظرا لما يتميز به من معامل حرارى مرتفع وبذلك فانه يمنع حدوث تغيرات شديدة فى درجات الحرارة تضر بالخلية .

ويكون الماء حوالى ٧٥ - ٨٥ ٪ من وزن البروتوبلازم . وتختلف كمية الماء فى الخلية اختلافا كبيرا تبعا للظروف المختلفة كما تختلف من نسيج إلى آخر . كذلك تتغير كمية الماء فى الخلايا تبعا للعمر ففى مراحل العمر المتأخرة تكون كمية الماء أقل عنها فى مراحل العمر المبكرة .

ويوجد الماء بصورة طليقة (free) أو مرتبطة (bound) في أنسجة الكائن الحي .  
ويمثل الماء الحر أو الطليق حوالي ٩٥ ٪ من الكمية الإجمالية للماء في الخلايا وذلك باستثناء خلايا العظام ، ويعمل هذا الماء كمذيب أساسي وكذلك كوسط للتفاعلات الحيوية في الخلية ، أما الماء المرتبط ( ٥ ٪ تقريبا من كمية الماء الكلية في الخلية ) فانه يكون بصورة أساسية - مرتبطا بالمجموعات القطبية للبروتينات ، وبعبارة أخرى فان كمية معينة من الماء توجد مرتبطة "bound" في التركيب الغروي للبروتوبلازم ويجب اعتبار هذا الماء جزءا مكملا للجهاز الحيوي للجسم .

ويقاوم الماء المتحد تأثيرات الحرارة المنخفضة حيث يبقى سائلا غير متجمد بينما يكون الماء الطليق قد تبلور . ويبدو أن هذا التبلور هو الذي يتسبب في موت البروتوبلازم في درجات الحرارة المنخفضة .

### الخصائص الطبيعية ( الفيزيكية ) للبروتوبلازم :

#### Physical characteristics of protoplasm

البروتوبلازم جهاز غروي معقد وذلك لأنه يشتمل على خصائص الغرويات . وتتركب المادة الغروية (colloid) من حبيبات بالغة الدقة تسمى المادة المنتشرة أو الوسط المنتشر (dispersed phase) معلقة ( أو عالقة ) في مادة أخرى يطلق عليها الوسط الدائم أو الوسط الانتشاري (Continuous phase or dispersion medium) .

وتختلف المواد المذابة عن بعضها بالنسبة لقابليتها للانتشار خلال الأغشية العضوية . فبعض المواد مثل محاليل السكريات والأملاح تنتشر بسهولة خلال هذه الأغشية ، بينما مواد أخرى مثل محاليل النشا أو بياض البيض أو الجيلاتين لا تعبر خلال تلك الأغشية . ويطلق على محاليل النوع الأول المحاليل البلورية (crystalloids) وعلى الثانية المحاليل الغروية (colloids) . وتعطى لمحاليل الغروية عند تبخيرها كتلا ليس لها شكل معين بينما يتخلف عن المحاليل البلورية بلورات لها أشكال مميزة .

ويوجد نوعان من الغرويات : نوع يعرف بالمعلقات (suspensoids) مثل الحبر الهندي وفيه تكون حبيبات الكربون الدقيقة المكونة للمادة المنتشرة معلقة في السائل ، أما النوع الثاني فهو المستحلب (emulsoid) ويكون فيه كل من الوسط المنتشر والوسط الانتشاري سائلا كما في اللبن الذي يتكون من حبيبات دهنية ( القشدة ) معلقة في الماء . وعلى الرغم من أن كلا المادتين سائلتان إلا أنهما لا يختلطان معا .

وفى معظم المستحلبات يستطيع الوسطان أن يتبادلا مكانيهما أى أن المادة المستحلبة يمكن أن تتغير من حالة إلى حالة أخرى مثل محلول الجيلاتين فى الماء . هذا المحلول عند درجة حرارة معينة يكون الوسط الانتشارى فيه هو الجيلاتين ، وفى هذه الحالة تكون المادة الغروية فى حالة أقرب للصلابة ( هلامية القوام ) ويطلق عليها جل (gel) . وعند ما ترتفع درجة الحرارة يصبح الماء هو الوسط الانتشارى ويتحول المحلول الغروى إلى حالة أقرب الى السيولة . ويطلق على هذه الحالة السائلة صل (sol) . ويتميز البروتوبلازم بنفس هذه الخاصية بمعنى انه تحت تأثير بعض المؤثرات الداخلية أو الخارجية يستطيع ان يتحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة والعكس بالعكس ، وعلى ذلك فإن البروتوبلازم مستحلب انعكاسى (reversible emulsoid) . وبعبارة أخرى فإن قوام البروتوبلازم قد يختلف فى الخلايا المختلفة ، كما أنه يختلف من لحظة إلى أخرى فى الخلية الواحدة من حالة السيولة إلى حالة الصلابة . وهذا التغير انعكاسى ( منعكس ) ويطلق عليه الحالة " الجيلاتينية العكسية " أى القابلة للانعكاس (sol --- gel reversible gelation) . وهذا التحول الانعكاسى ( أو العكسى ) هو أساس الحركة الأميبية .

وتكمن الأهمية البالغة للبروتوبلازم كمحلول غروى فى أنه يحتوى على عدد كبير جدا من حبيبات بالغة الدقة معلقة فى وسط انتشارى وينتج عن هذا وجود سطح متسع جدا بين الحبيبات المنتشرة والوسط الانتشارى ، ولما كانت جميع التفاعلات تحدث على هذه الأسطح فإن الطبيعة الغروية للبروتوبلازم تكون بذلك بالغة الأهمية .

وبالنسبة لبناء البروتوبلازم أو هيكله العام فهناك عدة نظريات :

**النظرية الأولى ( النظرية الليفية أو الخيطية (fibrillar theory) وترى أن البروتوبلازم يتكون من الياف متصلة تكون تركيبا شبكيا فى الخلية ، وتحاط هذه الشبكة بالسائل مثل الاسفنج فى الماء . ويعتقد بعض العلماء أن الخيوط غير متصلة .**

**وجاءت بعد ذلك النظرية الحويصلية (alveolar theory) وتعتبر أن الجزء الأكثر صلابة فى البروتوبلازم يكون ما يشبه الرغاوى (foam) وفيه يحصر السائل فى تجاويف أو حويصلات .**



والنظرية الثالثة هي النظرية الحبيبية (granular theory) وترى أن البروتوبلازم يتكون من حبيبات ( أجسام التمان ) معلقة في سائل .

إلا أنه قد وجد أن توزيع البروتوبلازم على هيئة خيوط أو حوصلات أو حبيبات ما هو إلا نتيجة لتجلط البروتينات تحت تأثير عوامل معينة ، وعلى ذلك فإن أية دراسة للبروتوبلازم يجب أن تجرى على الخلية الحية .



## الفصل الرابع

### التركيب العام للخلية الحيوانية

#### GENERAL STRUCTURE OF THE ANIMAL CELL

يمكن تعريف الخلية الحيوانية على أنها كتلة من البروتوبلازم محاطة بغشاء رقيق وتحتوى على نواة أو أكثر على الأقل فى مرحلة معينة من مراحل تكوينها . ويطلق على البروتوبلازم الذى يكون جسم الخلية " السيتوبلازم " (cytoplasm) أو " السيتوسوم " (cytosome) بينما يطلق على جزء البروتوبلازم الذى يكون النواة كاريوبلازم (karyoplasm) .

وقد وجد أنه فى أى نوع من الحيوانات تكون هناك علاقة معينة بين حجم النواة وحجم السيتوبلازم يطلق عليها النسبة " النووية السيتوبلازمية " : - nuc.eocyto (plasmic ratio, or karyoplasmic ratio) . وقد اكتشف ذلك فى الأوليات ثم امتد بعد ذلك إلى الحيوانات الأخرى . وتنطبق هذه العلاقة على الخلايا المتجانسة ( أى التى تكون من أصل واحد وتؤدي نفس الوظيفة ) كما فى يرقات قنفذ البحر سواء نتجت عن بويضات مخصبة أو بويضات غير مخصبة . هذا ، وقد تختلف هذه النسبة نتيجة للظروف المختلفة . وللنسبة النووية السيتوبلازمية أهمية كبيرة فى حياة الخلية ، وقد تكون من بين العوامل التى تتسبب فى انقسام الخلية .

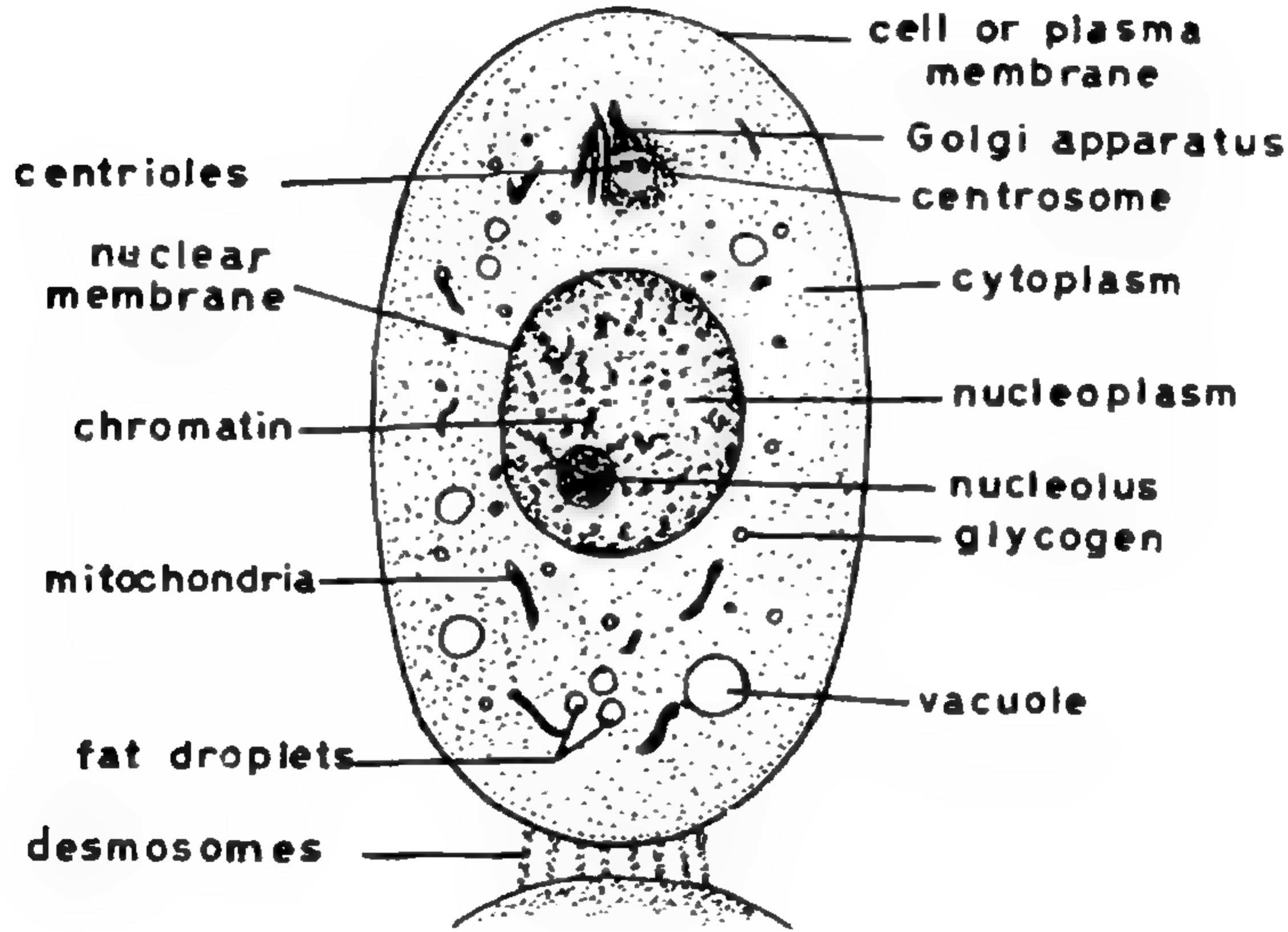
ويختلف شكل الخلايا وتركيبها تبعاً لموقعها فى الجسم وما تقوم به من وظائف مختلفة . فبعضها شكله متغير مثل كرات الدم البيضاء ، وبعضها له شكل ثابت كالخلايا الطلائية والعصبية . ويتوقف شكل الخلية على عدة عوامل منها الأنشطة الوظيفية ودرجة لزوجة البروتوبلازم والتوتر السطحى والضغط الميكانيكى الناشئ من الخلايا المجاورة .

وتختلف الخلايا أيضاً من ناحية أحجامها ، فالخلايا الحمراء قطرها حوالى ٧ر٥ ميكرون ، بينما يتراوح قطر الخلايا الأخرى فى جسم الإنسان بين ٢٠٠ ميكرون و ١٥٠٠٠ ميكرون . ويلاحظ أن بعض الخلايا يكون كبير الحجم بحيث يمكن رؤيته بالعين المجردة مثل بيضة الطيور ، كما أن بعض الحيوانات الكبيرة قد يصل فيها طول الخلية العصبية الى عدة أقدام . وجدير بالذكر أن عمر الخلية ووظيفتها من أهم العوامل التى تتحكم فى حجم كل من الخلية والنواة .



## السيتوبلازم (The cytoplasm)

يطلق لفظ سيتوبلازم أو سيتوسوم على جميع البروتوبلازم الموجود خارج النواة ، ويحده من الخارج غشاء الخلية Plasma membrane or plasmalemma الذي يمثل المنطقة الخارجية الحية للبروتوبلازم وهو عادة لا يرى بالميكروسكوب الضوئي . وغشاء الخلية غشاء رقيق يلعب دورا هاما في عملية تنظيم تبادل المواد بين الخلية وما يحيط بها . وتوجد خارج هذا الغشاء في بعض الخلايا مادة ميتة عبارة عن مادة افرازية ، تعرف هذه المادة باسم الغلاف الخارجى (extraneous coat) في الخلايا الحيوانية ، بينما في الخلايا النباتية تعرف هذه المادة بجدار الخلية (cell wall) .



( شكل ١٧ )

خلية حيوانية نموذجية كما تُرى بالميكروسكوب الضوئي

ويبدو السيتوبلازم الأساسي (fundamental or ground cytoplasm) والذي يطلق عليه أيضا هياالوبلازم "hyaloplasm" على هيئة مادة متجانسة تحتوى على تراكيب حية مثل أجسام جولجي (Golgi bodies) والميتوكوندريا (mitochondria) والجسم المركزى (cell centre) وهذه التراكيب عبارة عن أجزاء متخصصة من المادة الحية ويطلق عليها العضيات (organoids or organelles) . وبالإضافة إلى تلك التراكيب الحية يوجد فى السيتوبلازم مواد غير حية تكونها الخلية أى تتكون نتيجة لنشاط

البروتوبلازم أى انها غير بروتوبلازمية وتظهر بصورة مؤقتة وتسمى ميتابلازم (metaplasia or paraplasia or inclusions) وتمثل هذه المكونات مواداً متراكمة تصنعها الخلية أو تظهر نتيجة لعمليات الهدم الخلوية أو تكون مواداً غذائية محتواة فى الخلية . وتشتمل المكونات غير الحية على قطرات الدهن وحبيبات الإفراز وقطرات الملح والجليكوجين وحبيبات صيفية وبلورات أو اجسام غريبة كالميكروبات والحطام الخلوى (cell debris) وغيرها . وقد تحتوى الخلايا أيضاً ، وبخاصة المسنة منها على فراغات (vacuoles) أو حويصلات (vesicles) مختلفة الأحجام وممتلئة بسائل أو غاز .

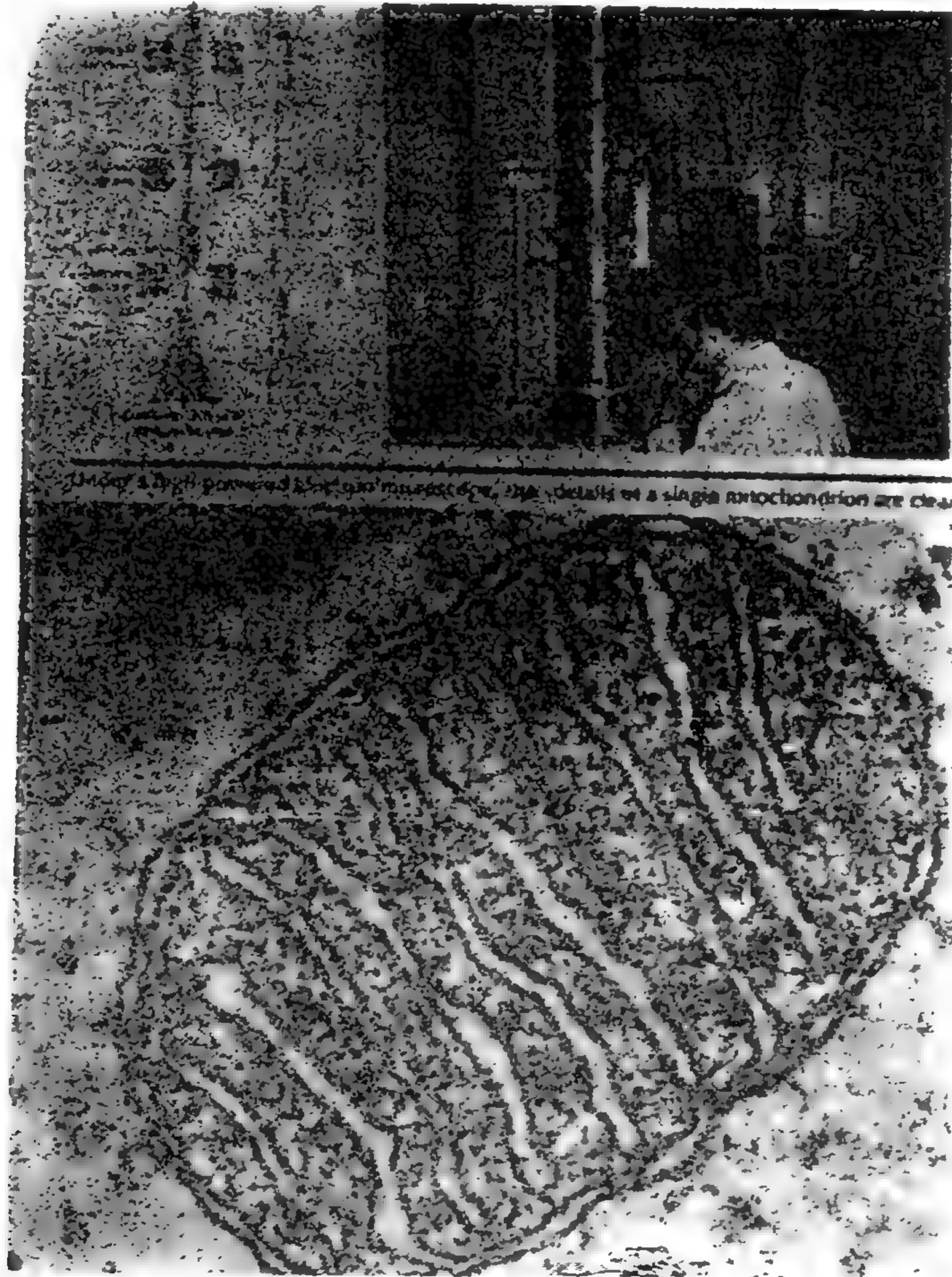
وعند فحص الخلية بالميكروسكوب الالكترونى يظهر فى السيتوبلازم الأساسى أو الهيالوبلازم تركيب دقيق يسمى الشبكة الاندوبلازمية (endoplasmic reticulum) وهو جهاز يتكون من أنابيب وفجوات محاطة بأغشية رقيقة . وبذلك تقسم هذه الشبكة السيتوبلازم الأساسى إلى منطقة داخلية ( متمثلة فى هذه الفجوات المختلفة ) ويفصلها غشاء رقيق ( غشاء الشبكة الاندوبلازمية ) عن المنطقة الخارجية وهى الهيالوبلازم أو السيتوبلازم الأساسى أو المادة الخلالية للسيتوبلازم (hyaloplasm or cytoplasmic matrix) . وهذا الهيالوبلازم أو السيتوبلازم الأساسى هو الذى يحيط بالتراكيب الحية الموجودة فى الخلية مثل جهاز جولجى والميتوكوندريا والشبكة الاندوبلازمية وغيرها

## النواة (The nucleus)

تحتوى النواة فى المرحلة البينية interphase ( المرحلة الواقعة بين انقسامين متتاليين ) على الكروماتين (chromatin) ، ويطلق على الأجسام الكبيرة من هذه المواد الكروماتينية المراكز الكروماتينية (chromocentres) أو النويات الكروماتينية (karyosomes) أو النويات غير الحقيقية (false nucleoli) وذلك لأنها شبيهة من الناحية المورفولوجية ببعض النويات . وتشاهد المواد الكروماتينية موزعة خلال العصارة النووية ( بروتوبلازم النواة nucleoplasm ) . بالإضافة إلى ذلك يوجد فى النواة جسم صغير كروى الشكل يسمى بالنوية (nucleolus) وقد توجد فى النواة نويتان أو أكثر . وتختلف النواة عن الأجسام الكروماتينية فى بعض الخواص الصيفية وكذا فى

التركيب الكيماوى . ويحيط بالنواة غلاف نووى (nuclear envelope) أو غشاء نووى (nuclear membrane) .

ويطلق على الخلية التى سبق وصفها الخلية النموذجية وهى التى يوجد فيها النواة والسيتوبلازم بتراكيبه الخلوية . وتعرف مثل هذه الخلية التى تحتوى على نواة محددة مخرلية ذات نواة حقيقية (eukaryotic cell) . أما إذا لم تحتو الخلية على غشاء نووى ، مما يجعل المادة النووية على اتصال مباشر ببقية البروتوبلازم ، فان الخلية عندئذ يطلق عليها خلية بدائية النواة (prokaryotic cell) مثال ذلك البكتريا وبعض الطحالب ومعظم الفيروسات .



(شكل ١٨) الميتوكوندريا كما يوضحها الميكروسكوب الالىكترونى

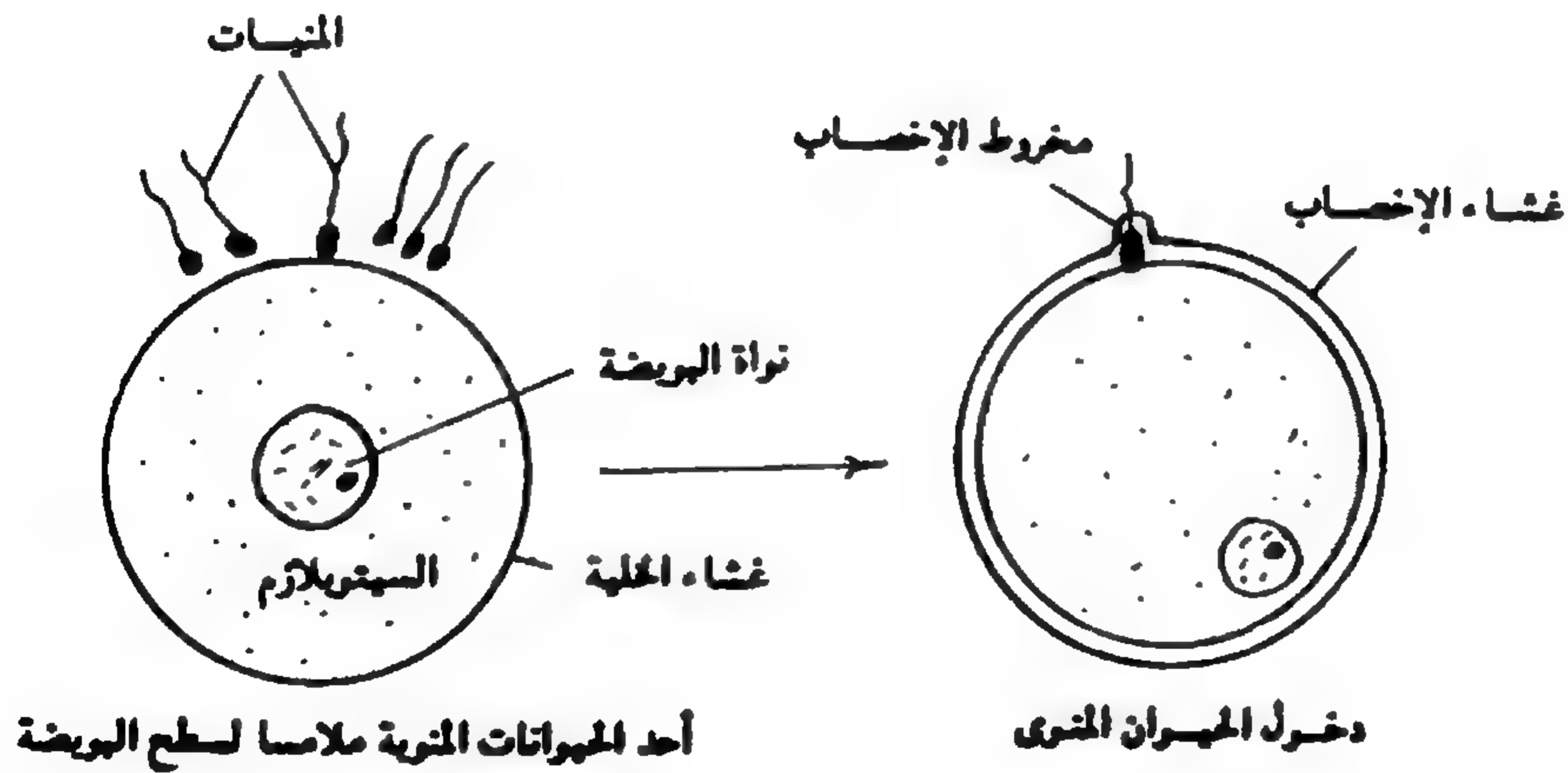


## الفصل الخامس

### غشاء البلازما ( غشاء الخلية ) The plasma membrane

من المسلم به منذ عام ١٨٥٥ أن الغشاء المحيط بالخلية أو، غشاء البلازما أو ما يسمى أحيانا غشاء الخلية (Plasma membrane or cell membrane) يلعب دورا أساسيا في حياة الخلية . وهذا الغشاء حاجز نفاذ يتحكم في مرور الجزيئات والأيونات بين السيتوبلازم والوسط المحيط به .

وعلى الرغم من أن غشاء البلازما رقيق جدا لدرجة أنه لا يمكن رؤيته بالميكروسكوب العادي ، إلا أن العلماء قد تحققوا من وجوده عن طريق استخدام أدوات الجراحة متناهية الدقة . فعلى سبيل المثال عندما ثقت الخلية بآبرة دقيقة فان السيتوبلازم قد تدفق ( سال ) إلى خارج الخلية مما يدل على وجود غشاء يحيط بالخلية هو الذي تسبب عندما ثقت في مرور السيتوبلازم الى خارج الخلية . كذلك عندما حقنت الخلية ، عن طريق أنبوبة شعرية دقيقة بصبغ معين ، فإن المادة الملونة ظلت داخل الخلية ولم تغادرها إلى خارجها .



(شكل ١٩)

غشاء البويضة قبل وبعد اختراق الحيوانات المنوية

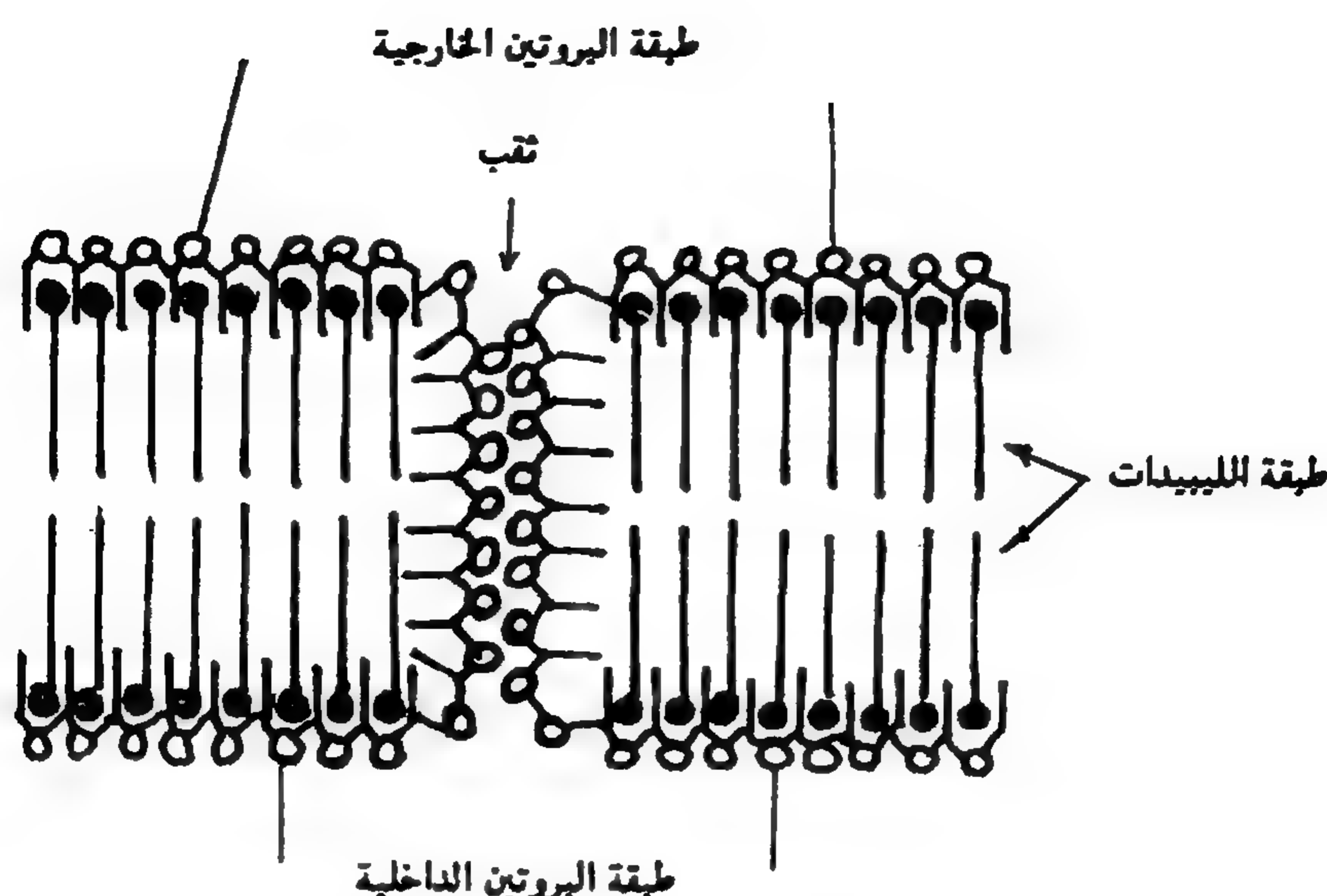
وفى بعض الأحيان يمكن تمييز غشاء الخلية كتركيب محدد كما هو الحال فى بيض قنفذ البحر حيث يتبع اختراق الحيوان المنوى لسطح البويضة انفصال غشاء رقيق عند سطح الخلية البىضية ، وهذا الغشاء ( وهو عبارة عن غشاء الخلية ) يتغلظ مكونا غشاء الإخصاب ( شكل ١٩ ) الذى يعمل على منع دخول حيوانات منوية أخرى إلى الخلية المخصبة ويعرف الفراغ الواقع بين هذا الغشاء وسطح البويضة بالحمز المحيط بالمع (perivitelline space) .

ويوجد بجانب غشاء الخلية ، فى كثير من الخلايا النباتية جدار سميك متميز يغطى غشاء الخلية أو يلتص به ، أما المادة التى تشاهد بين الخلايا الحيوانية وتفصلها عن بعضها ، والتى كان يعتقد أنها غشاء الخلية ، فهى ليست سوى مادة تعمل على ترابط الخلايا ببعضها ، وتعرف هذه المادة باسم الغلاف الخارجى (exteraneous coat) .

### تركيب الغشاء الخلوى : Structure of the plasma membrane

أوضحت الدراسات التى تمت منذ أمد بعيد أن غشاء البلازما يتكون من طبقة رقيقة من الليبيدات . وقد استنتج ذلك من دراسة حالات النفاذية فى بيض قنفذ البحر وخلايا ( كرات ) الدم الحمراء والألياف العضلية . وقد أوضحت الدراسات أن نفاذ جزيئات المادة داخل الخلايا عبر الأغشية الخلوية يعتمد إلى حد كبير على مدى قابليتها للذوبان فى الدهون . فكلما كانت هذه المواد أشد قابلية للذوبان فى الدهن كلما كان نفاذها إلى داخل الخلايا أسرع ، فعلى سبيل المثال فإن البولينا (urea) والأيثير (ether) تنفذ إلى الداخل بسرعة فائقة ، وينفذ الجليسرول (glycerol) بصورة معتدلة بينما هناك مواد أخرى مثل الجالاكتوز (galactos) لا تنفذ إطلاقا داخل الخلية . ثم أوضحت الدراسات البيوكيميائية ( الكيمياء الحيوية ) وجود البروتين فى غشاء البلازما . ويستدل على وجود البروتين الليفى فى هذا الغشاء من خصائصه الطبيعية ( الفيزيكية ) مثل المرونة وقابليته الميكانيكية للتمدد والارتخاء وتوتره السطحى .

وقد أوضح بعض الباحثين أن تنظيم جزيئات الليبيدات والبروتينات فى غشاء الخلية يكون بصورة معينة ، حيث تمتد الجزيئات البروتينية بمحاذاة سطح الغشاء وتتشعب منها جزيئات الليبيدات ( أى أن جزيئات الدهون تترتب قطريا ) ، غير أن دانيلى (Danielli) اقترح فى عام ١٩٥٢ نظرية أخرى فى هذا الشأن مقتضاها أن الليبيدات مترتبة على هيئة طبقتين من الجزيئات تحيط بهما من الخارج طبقة بروتينية وتبطنها من الداخل طبقة بروتينية أخرى . وتكون كل من الطبقتين البروتينيتين من سلاسل عديدة



(شكل ٢٠) التنظيم الجزيئي لغشاء الخلية (دانييلي - ١٩٥٤)

الجزئيات .

ويبلغ طول كل سلسلة حوالى ٥٠ ميلليمكرون وتربطها ببعضها روابط هيدروجينية تعمل على ترابط اجزاء غشاء الخلية ببعضها . وتعتبر هذه السلاسل من الجزئيات هي المسئولة إلى حد كبير عن مرونة غشاء البلازما وقوته الميكانيكية .

وفى عام ١٩٥٤ عدل دانييلي نظريته السابقة وأعلن أن غشاء البلازما يتكون من طبقتين من البروتين تفصلهما طبقة مزدوجة من جزيئات الليبيد ، وأن طبقة الليبيد ليست مستمرة ولكن يتخللها ثقب خاصة ( قطر الثقب حوالى ٧-٨ أنجستروم ) وتسمح هذه الثقوب بمرور المواد غير الدهنية إلى داخل الخلية .

وقد أكد الميكروسكوب الالكترونى وجود هذه الثقوب فى غشاء البلازما .

وفى عام ١٩٥٩ أعلن روبرتسون (Robertson) ان غشاء البلازما يظهر فى الميكروسكوب الالكترونى كتركيب ثلاثى الطبقات يتكون من شريطين كثيفين تفصلهما منطقة مضيئة من الليبيد ( شكل ١١ ، ١٢ ) واقترح تسميته المشهورة " وحدة الغشاء " (the unit membrane) أو التركيب " ثلاثى الأجزاء " (tripartite structure) لغشاء البلازما . ويتفق وصف هذا التركيب الذى سبق أن أعلنه دانييلي . ويتراوح سمك غشاء الخلية بين ٧٥ - ١٠٠ أنجستروم . حيث يكون سمك الطبقة الدهنية ٢٥ - ٣٠ أنجستروم ، والطبقة البروتينية الخارجية حوالى ٢٥ أنجستروم والطبقة البروتينية الداخلية



٢٥ - ٣٥ المجسروم . وتجدر الإشارة إلى أن الطبقة الوسطى أى طبقة الليبيد تتكون من طبقتين من الجزئيات مترتبة بحيث تكون المجموعات غير القطبية اللامائية متجهة للداخل والمجموعات القطبية المائية (-cooh) متجهة للخارج . وتحيط بالغشاء الخلوى من الخارج طبقة سطحية من المواد السكرية المخاطية يطلق عليها الكأسى أو الغلاف السكرى (glycocalyx) .

ويتوقف مظهر غشاء البلازما فى الميكروسكوب الالكترونى على المثبتات المستخدمة والوسط الذى طمرت فيه العينة والصبغة التى استعملت وسمك القطاع .

### النموذج الفسيفسائى ( الموزايكو ) السائل The fluid mosaic theory :

تبين من البحوث الحديثة أن نموذج دانيلى - سابق الذكر - قد لا ينطبق على التركيب أو التنظيم الكيميائى لأغشية الخلايا الحيوانية بصورة مطلقة . وعلى الرغم من أن هناك ظاهرة عامة فى هذا المجال وهو أن تلك الأغشية تتكون من ليبيدات وبروتينات ، إلا أنه توجد بعض الاختلافات التفصيلية فى تلك المجالات . فعلى الرغم من أن سمك الغشاء الخلوى يتراوح بين ٥ - ١٠ المجسروم . وعلى الرغم من أنه تبين أيضا أن نسبة الليبيدات تتراوح بين ٣٠ - ٨٠ ٪ من التركيب الكيميائى العام للغشاء ، إلا أن هذه النسبة تتأرجح فى قيمتها فى الخلايا المختلفة بصورة واضحة . ويشير ذلك إلى أنه لابد من وجود اختلافات تركيبية معينة تختلف بصورة ما عما سبق . وعلى ذلك فقد افترضت بعض النظريات المختلفة التى توضح مثل تلك التركيبات ، ومن أشهرها وأكثرها تقبلا الآن تلك التى قدمها نيكولسون Nicolson (جامعة كاليفورنيا) عام ١٩٧٢ .

وتشبه هذه النظرية بصورة أساسية نظرية دانيلى السابقة وذلك فيما يتعلق بوجود طبقة مزدوجة من الليبيدات ( الفسفوليبيدات ) منظمة بحيث تكون رؤوسها أو نهاياتها ذات الميل المائى hydrophilic متجهة نحو سطح الغشاء الخلوى ، ونهايتها عديمة الميل المائى hydrophobic متجهة للداخل . إلا أن هذه النظرية ترى أن وجود البروتينات ليس قاصرا على أسطح الخلايا فقط كما أنها أيضا لا تكون صفيحة كاملة على أسطح تلك الأغشية ، إنما توجد بطريقة انتشارية أى فسيفسائية أو موزايكية على كل من السطحين الخارجى والداخلى لأغشية الخلايا .

وقد تبين أيضا أن البروتينات - على السطح الداخلى - قد تختلف فى تركيبها عن بروتينات السطح الخارجى ، بل أنه قد لا توجد بروتينات على أسطح الأغشية بصورة كاملة فى بعض الخلايا .

وفيما يتعلق بالأجزاء البروتينية المتواجدة داخل الطبقة الدهنية المزدوجة ، فإنها تختلف في أنماطها في بعض الحالات ؛ أحيانا يكون في بعض تلك الأجزاء موجودة أو يقتصر وجودها على النصف الخارجى فقط لتلك الطبقة الدهنية ، أو على النصف الداخلى لتلك الطبقة ، وقد يمتد بعضها بين تلك الطبقة الدهنية المزدوجة بصورة كاملة بطريقة بارزة داخل الوسط المائى على الناحيتين .

وفى ضوء هذه النظرية فإن الثقوب الخلوية membrane pores ينظر لها الآن على أنها ممرات Channels ممتدة خلال جزيئات البروتينات .

### التركيب الكيميائى لغشاء البلازما :

Chemical composition of the plasma membrane :

يتركب غشاء الخلية بصورة أساسية من البروتين والليبيدات بالإضافة الى كمية قليلة من المواد قليلة السكر (١ - ٥ ٪) التى قد تكون مرتبطة بالبروتينات أو الليبيدات .

### الليبيدات (lipids) :

يحتوى غشاء الخلية على فسفوليبيدات وكوليسترول وليبيدات سكرية ( جالاكتوليبيدات ) بنسب مختلفة فى أغشية الخلايا المختلفة .

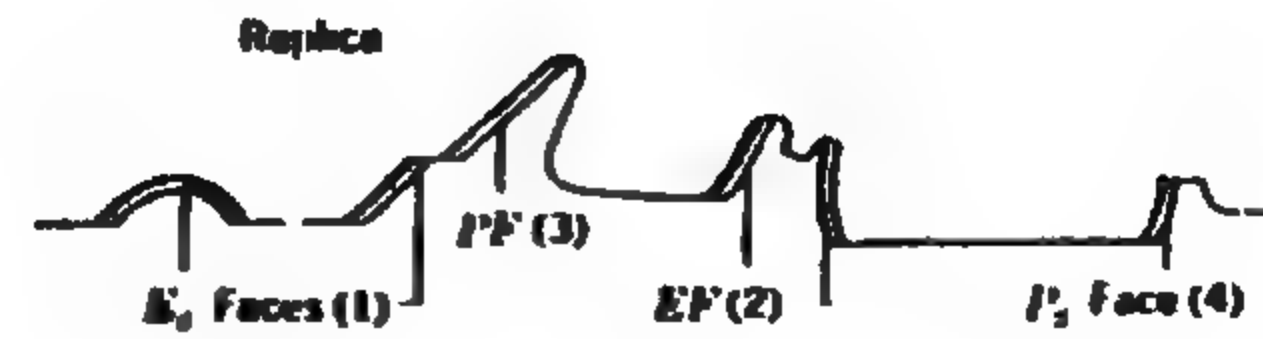
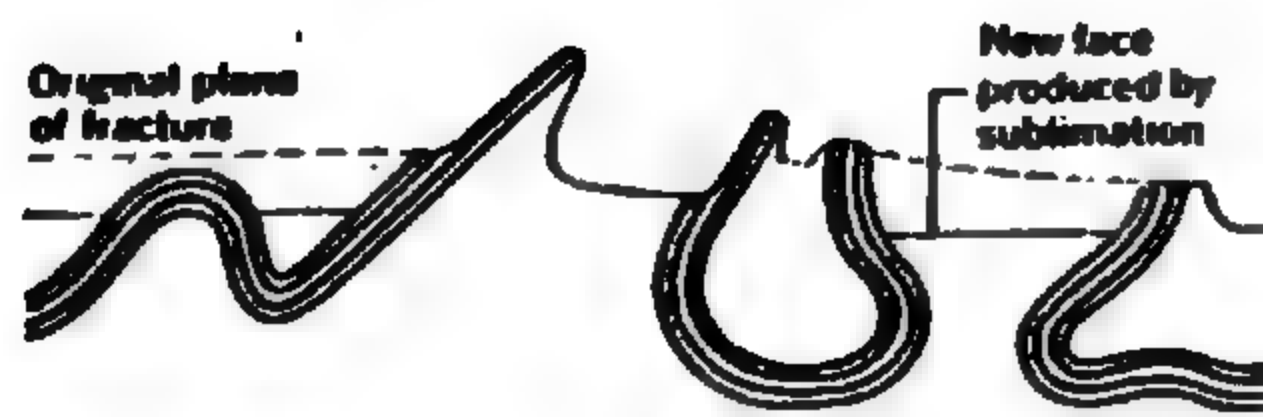
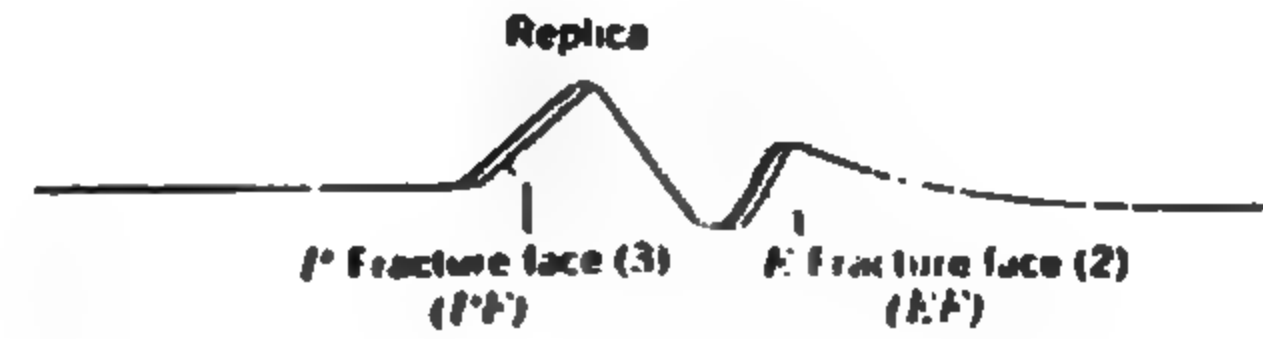
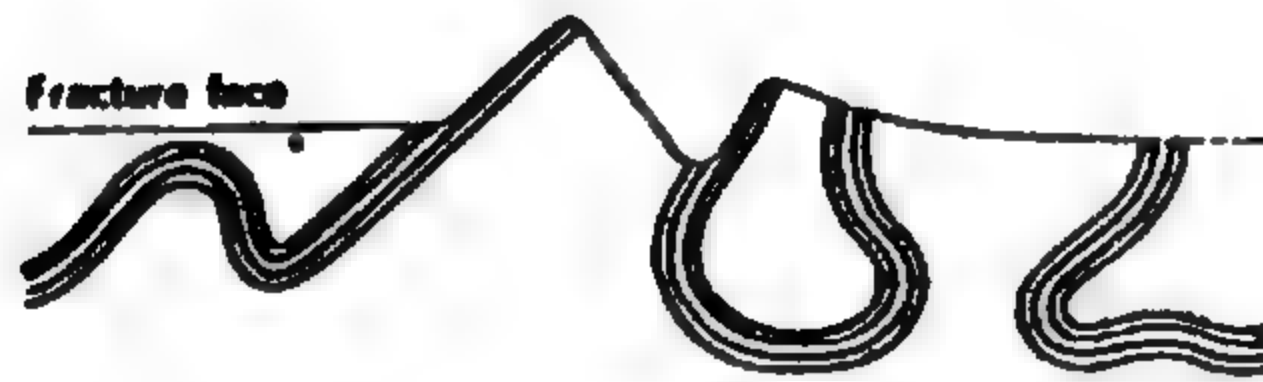
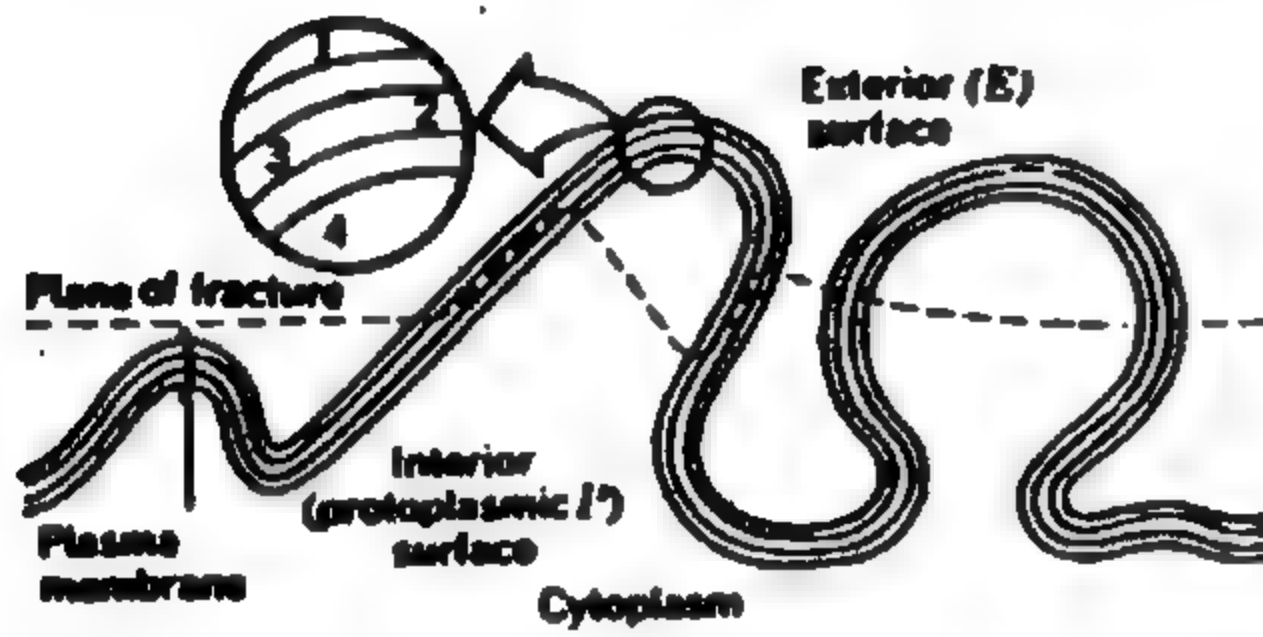
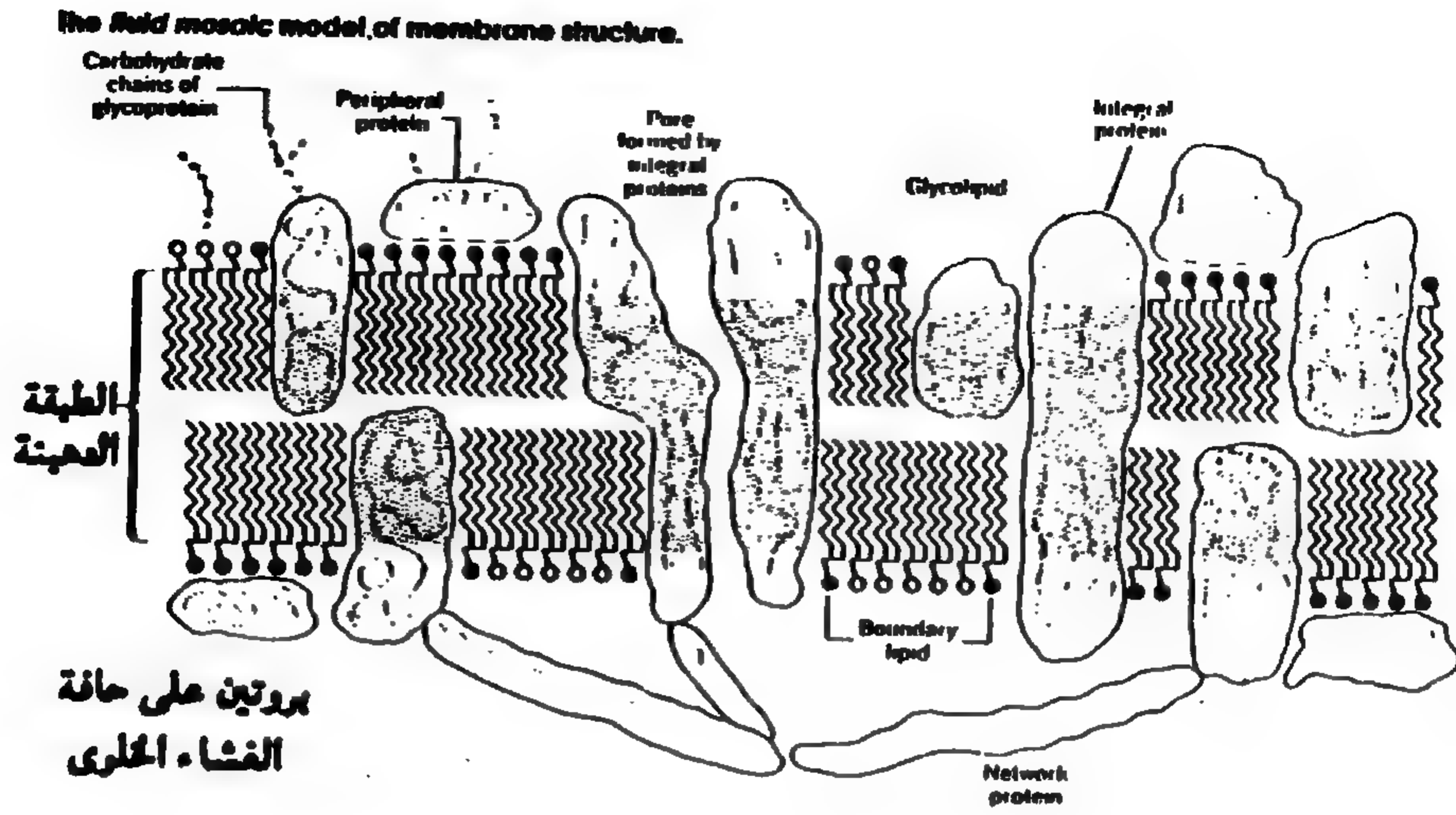
### البروتينات (Proteins) :

لا يقتصر عمل البروتينات على تدعيم غشاء الخلية لوكنها تقوم بدور قنوات أو ممرات لنقل المواد .

وبالإضافة الى ذلك يحتوى غشاء الخلية على إنزيمات ( حوالى ٣٠ انزيم ) \* وانتيجينات وبعض الجزيئات المستقبلية الأخرى .

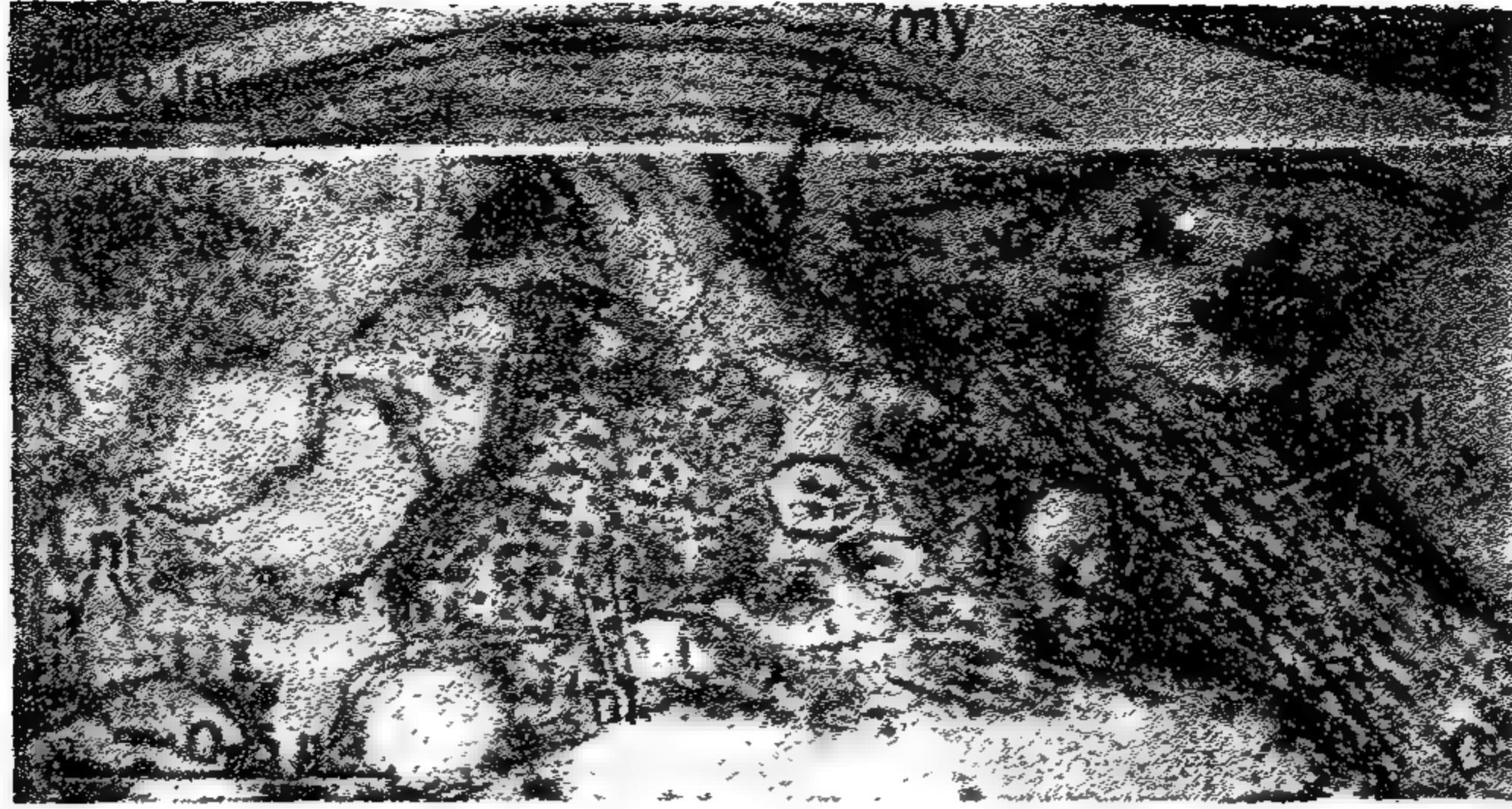
### الكربوهيدرات (Carbohydrates)

يوجد كل من السكر السداسى ( هكسوز hexose ) والهكسامين (hexamine) والفيكوز (fucose) وحامض الساليك (sialic acid) مرتبطا بالسطح الخارجى لغشاء الخلية الكبدية . ويوجد فى نفس الغشاء نسبة ضئيلة من حامض الساليك على هيئة جامفليوسيدات (gangliosides) . وعلاوة على هذا فإن هذه المواد تكون جزءا مهما من مكونات سطح غشاء الخلايا العصبية .



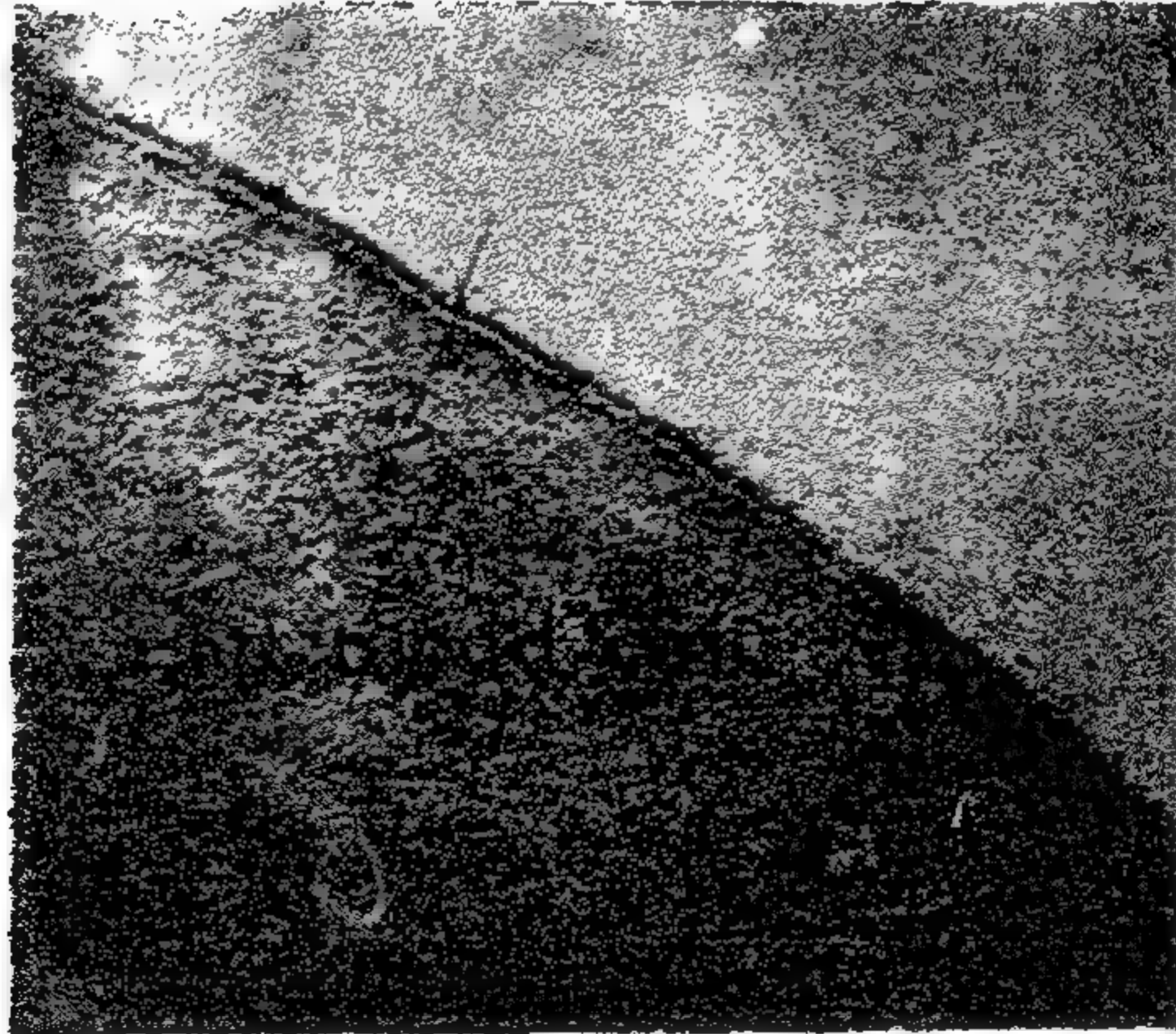
(شكل ٢١)  
الأسطح الخلوية - النموذج الفسيفسائي





(شكل ٢٢)

منطقتان متجاورتان للغشاء الخلوي في خلايا الأمعاء ( بالميكروسكوب الالكتروني ) لتوضيح النظام الجزيني الثلاثي والثقوب في أغشية الخلايا.



(شكل ٢٣)

التركيب الدقيق لغشاء خلية الدم الحمراء

وفيما يلي نسبة الليبيدات للبروتينات في أغشية بعض الخلايا :

النسيج	البروتينات %	الليبيدات
الجهاز العصبي المركزي في الانسان	٢٠ %	٨٠ %
العضلات الهيكلية في الفأر	٦٥ %	٣٥ %
كبد الفأر	٦٠ %	٤٠ %
خلايا الدم الحمراء في الانسان	٦٠ %	٤٠ %
ميتوكوندريا الخلايا الكبدية في الفأر	٧٠ %	٢٧-٢٩ %

نحورات غشاء الخلية : modifications of the plasma membrane

أوضحت الدراسات التي أجريت بالميكروسكوب الضوئي أن مناطق معينة من سطح الخلية في بعض الخلايا لها دور هام في الكثير من الأنشطة الفسيولوجية مثل الامتصاص والإفراز ونقل السوائل . وقد أتاح الميكروسكوب الإلكتروني للعلماء تحليل تلك الظواهر وتفسيرها بصورة أدق وهي تصنف حسب موقعها كالآتي :



(شكل ٢٤) الحافة الفرغونية لخلايا الأمعاء.

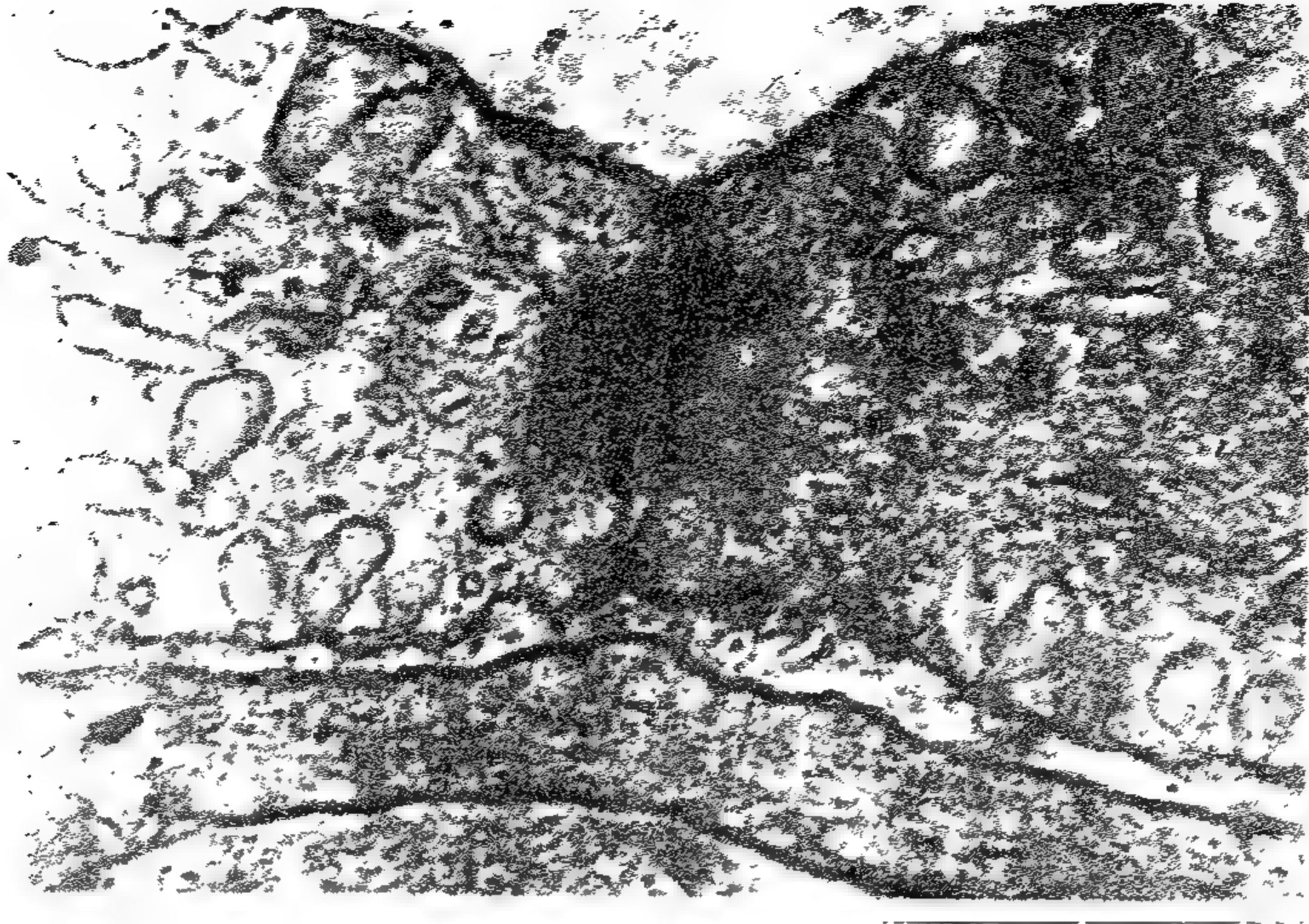
١ - تخصصات السطح القمي للخلية :

specializations of the apical cell surface

ظهر ان الحافة المخططة (Striated border) عند قمة الخلايا الطلائية للأمعاء.

والحافة الفرغونية (brush border) للخلايا المبطنة للأنابيب الملتوية في الكلية





(شكل ٢٥) الـديزموزومات

والتي تشاهد بواسطة الميكروسكوب الضوئي هي عبارة عن خملات دقيقة (microvilli) قطرها ١٠٠ ملليميكرون وطولها من ٦ر. الى ٨ر. ميكرون . وقد تمكن العلماء من الوصول الى ذلك عن طريق الميكروسكوب الالكتروني الذي أظهر بجلاء أن السطح القمي لغشاء الخلايا المذكورة يبرز للخارج على هيئة زوائد رفيعة هي الخملات الدقيقة . وتعمل هذه الخملات على زيادة سطح الامتصاص في الخلية . كما تعمل المسافات الموجودة بينها على عمل الغريال او المصفاة .

## ٢ - تخصصات اساكـن التجاور بين اسطح الخلايا :

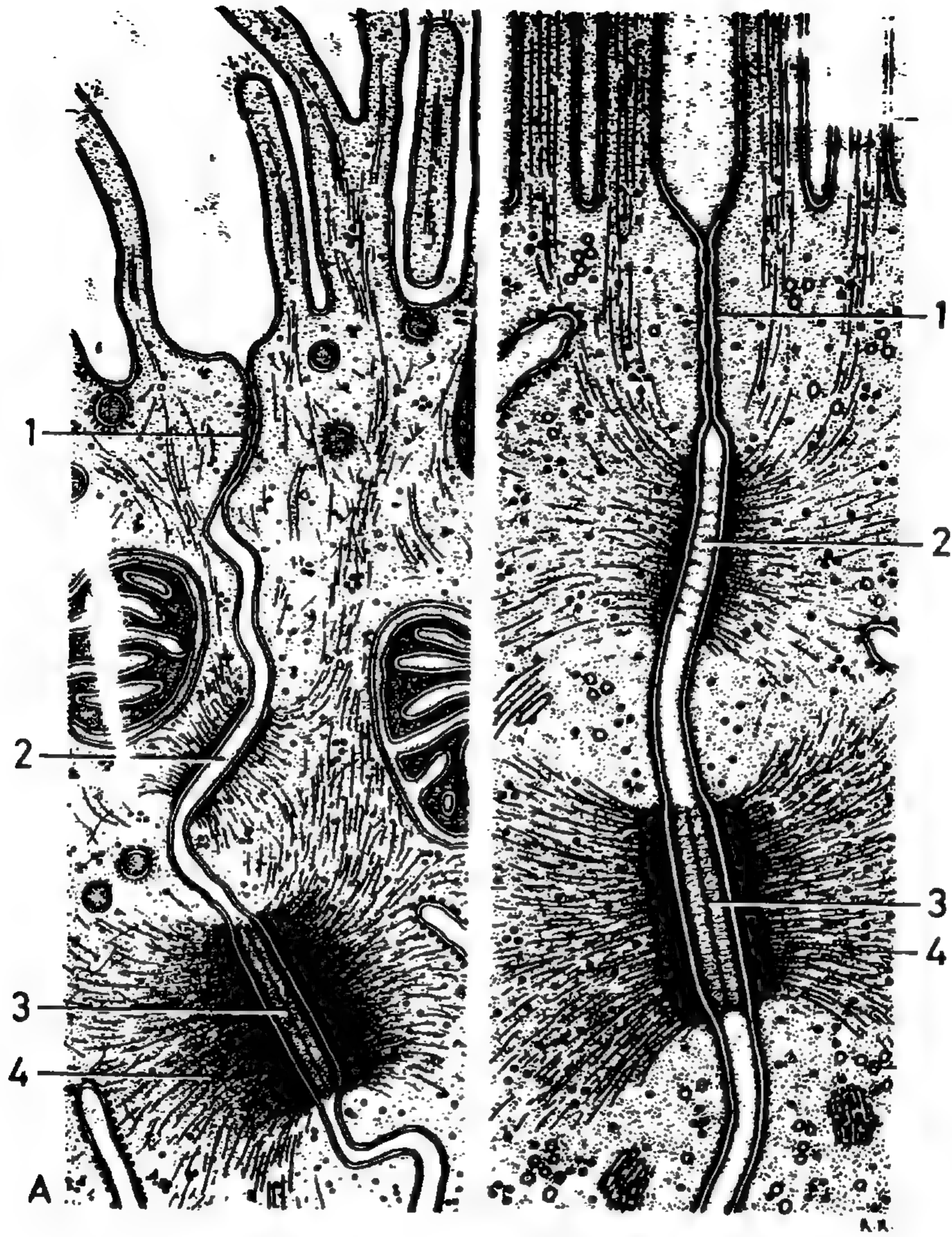
Specializations of contact surfaces between cells.

### أ - الـديزموزومات ( الأربطة الجسمية ) او مناطق التلاصق :

Desmosomes or macula adherens

توجد في عدد من الخلايا الطلائية وتظهر تحت الميكروسكوب الضوئي كأجسام داكنة الصباغة ، كانت تعتبر فيما مضى قناطر بين خلوية وأن هناك لبيفات مقوية رفيعة (tonofibrils) تمر خلالها من الجهة العلوية ولكن الميكروسكوب الالكتروني قد أوضح بجلاء انه لا يوجد أى اتصال أو استمرارية بين الخلايا المتجاورة ، وأن هذه الأربطة الجسمية ما هي إلا تغلظات في الغشاء بين المتقابلين للخليتين المتجاورتين ، ويتشعب من كل تغلظ خيوط دقيقة الى داخل سيتوبلازم الخلية الخاصة به . ويحتوى الفراغ بين الخلوى على قرص مركزى أو خط دقيق له كثافة الكترونية عالية .





(شكل ٢٦)

- الوصلات بين الخلايا في خلايا القصبة الهوائية
- ١- اتصال محكم
  - ٢- منطقة التلاصق الصغيرة
  - ٣- ديزموزوم
  - ٤- ليفات مقوية

وعادة ما توجد أماكن أقل التصاقاً أو تحاوراً في مناطق هذه الأربطة وفي هذه الحالة توجد فراغات بين خلوية لمرور السوائل .

ب - القضبان الطرفية أو مناطق التلاصق الصغيرة :

Terminal bars or zonula adherens

وهي شبيهة بالديزموزومات ولكن لا توجد بها تلك الأوتار العضلية .

ج - الاتصال المحكم أو المناطق الصغيرة المسدودة :

Tight junctions or zonula occludens

في هذه الحالة تندمج جوانب الخلايا المتجاورة مع بعضها وبذلك لا توجد فراغات بين الخلايا .

د - التراكيبات الارتفاقية : Synaptic junctions

تمثل الارتفاقات هذه الاتصالات الفسيولوجية بين الخلايا العصبية .

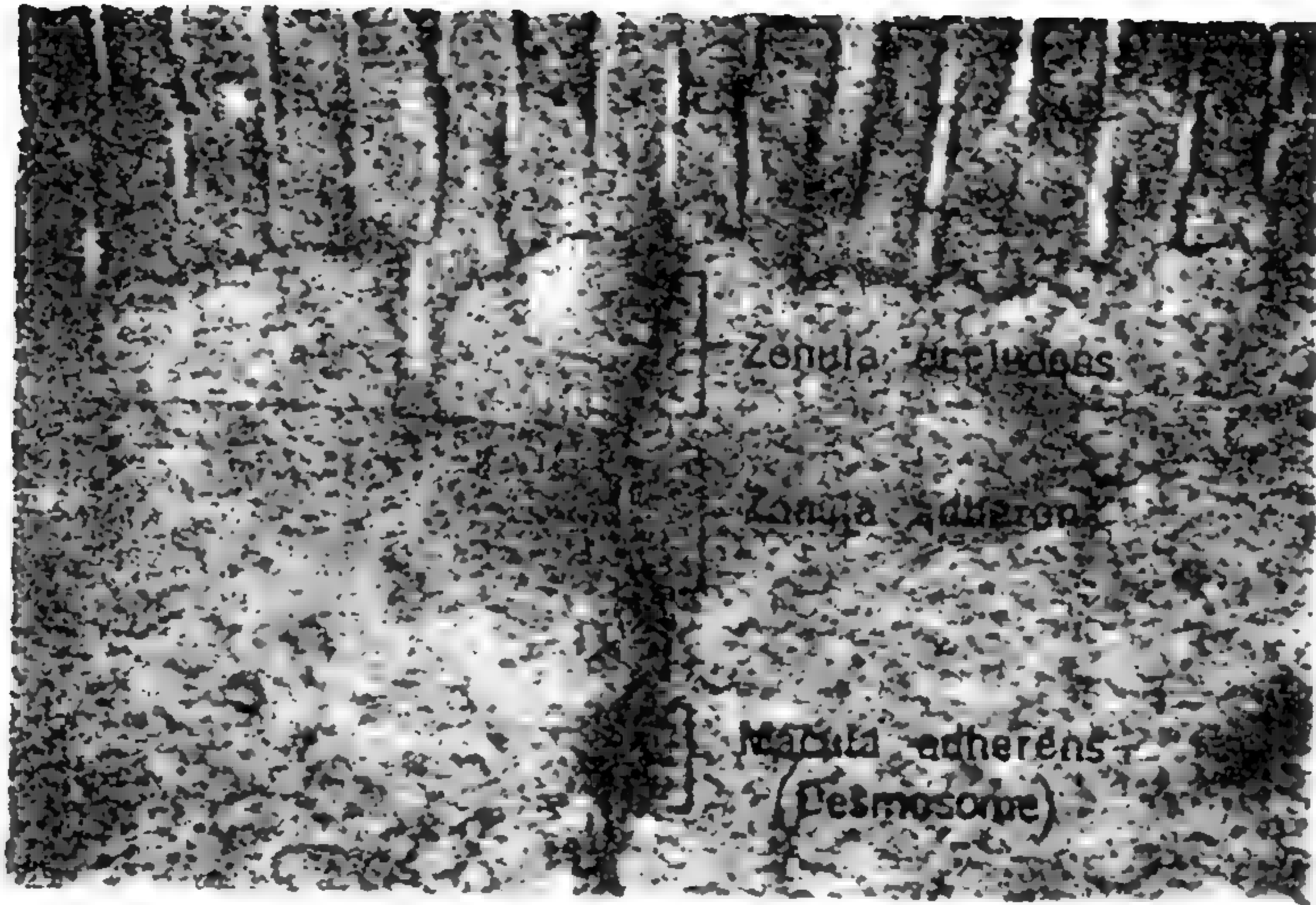
٣ - تخصصات قاعدة الخلية : Specialization of the cell base

في بعض الخلايا التي لها دخل في العمليات السريعة لنقل الماء ينشئ غشاء البلازما عند قاعدة الخلية انثناءات كثيرة تخترق السيتوبلازم إلى مسافات بعيدة . ونتيجة لهذه الانثناءات فإن السيتوبلازم ينقسم إلى حجرات صغيرة . وغالباً ما تحتوي تلك الحجرات على الميتوكوندريا .

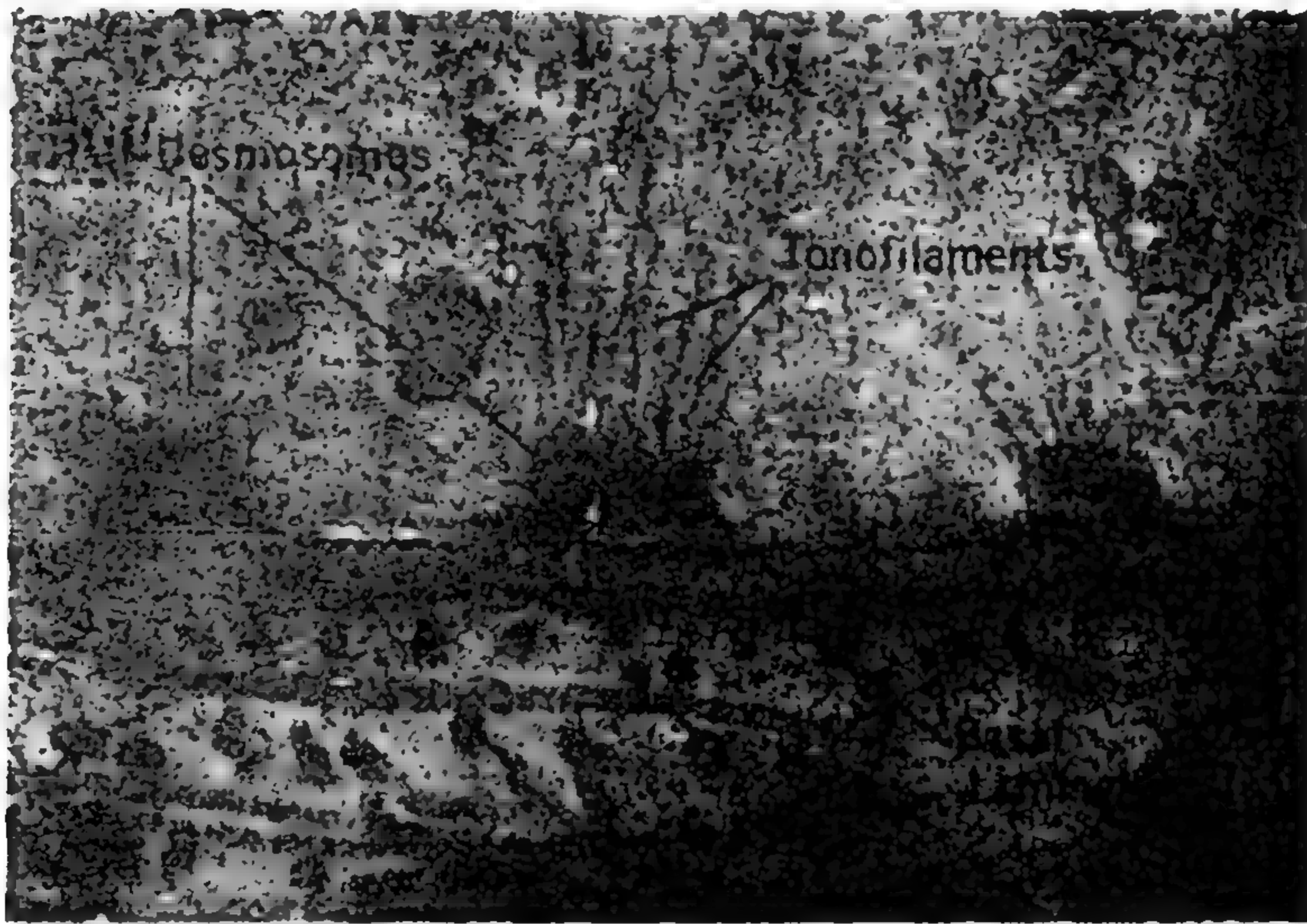
أغلفة غشاء البلازما: Coats of the plasma membrane

قد توجد أحياناً طبقة من مادة معينة تغطي سطح الخلية وتقع خارج غشاء البلازما . وقد أوضح الميكروسكوب الإلكتروني أنه توجد مسافة قدرها حوالي ١٠٠ أنجستروم بين غشاءى كل خلية متجاورتين . وقد تحتوي تلك المسافة على سكريات بروتينية ومواد أخرى عديدة التسكر على هيئة حامض هياالورونيك . ويطلق على هذه الطبقة الكأس أو الغلاف السكرى (glycocalyx) .





(شكل ٢٧)  
انواع الترابطات الخلوية بالميكروسكوب الالكتروني



(شكل ٢٨)  
السطح السفلي للنشاء القاعدي لخلية طلائية



## الأهمية الوظيفية لغشاء البلازما :

### Functional significance of plasma membrane

يعمل غشاء البلازما على التحكم فى مرور المواد الذائبة الى داخل الخلية ومنع انتشار البروتوبلازم الى خارج الخلية . ويطلق على هذه الظواهر بصورة عامة النفاذية (permeability) التى يمكن تعريفها بأنها " معدل حركة المادة خلال غشاء منفذ تحت تأثير قوة دافعة معينة " .

وللنفاذية أهمية جوهرية وذلك لأنها الآلية ( الميكانيكية ) التى تنظم دخول المواد الأساسية لبناء التراكيب الحية ، كما تنظم خروج الماء والمواد التالفة التى تتخلص منها الخلية .

وتعتمد النفاذية الخلوية على عوامل كثيرة مثل الحالة الفسيولوجية للخلية وكذلك العوامل الخارجية المختلفة مثل قوة محاليل الوسط الخارجى ودرجة الحرارة وغيرها .

ولما كان غشاء البلازما هو الحد الفاصل بين الخلية وما يحيط بها ، فان الجزء الأكبر من عمليات تبادل المواد بين الخلية والوسط المحيط بها يتم عن طريق النقل النشط أو غير النشط للأيونات والجزيئات ، ويتم اغتذاء الخلايا بصورة ايجابية نشطة للأجزاء الصغيرة من المواد الصلبة والمذابة عن طريق ظاهرتين يطلق عليهما الإلتعاهام ( الإبتلاع phagocytosis ) والارتشاف ( pinocytosis ) .

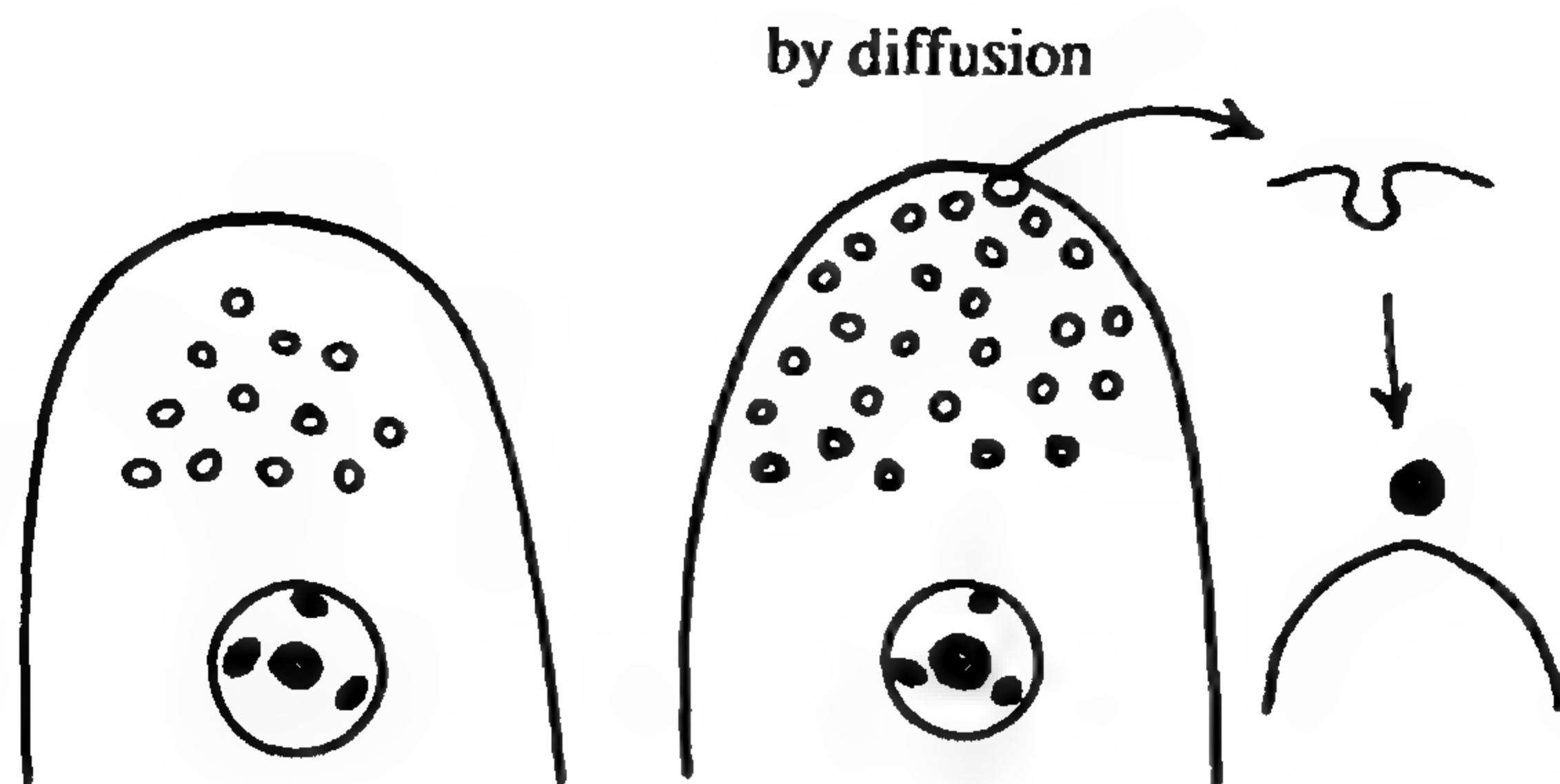
ولغشاء البلازما دور أساسى ليس فقط فى أخذ المواد الصلبة أو السائلة ، ولكن كذلك فى مرور النواتج الخلوية ( مثل عمليتى الإفراز والخراج ) الى السائل المحيط بالخلايا .

### الإفراز بالطريقة الجزيئية : Merocrine secretion

وفىها يندمج الغشاء المحيط بالحبيبة الإفرازية بغشاء الخلية وبذلك تصبح المواد الإفرازية خارج الخلية . وتشاهد هذه العملية اثناء مرور حبيبات الانزيم الحام ( الزيموجين zymogen ) من خلايا البنكرياس الى الخارج وكذلك فى الكثير من الغدد القنوية والغدد الصماء .

### الإفراز بالطريقة القمية : Apocrine secretion

وهى طريقة مختلفة تماما عن الطريقة السابقة ونشاهد فى خلايا الغدد العرقية تحت اللحية فى الارنب ، فيحدث انتفاخ عند قمة الخلية مكونا افرازيا على هيئة جسم كروى



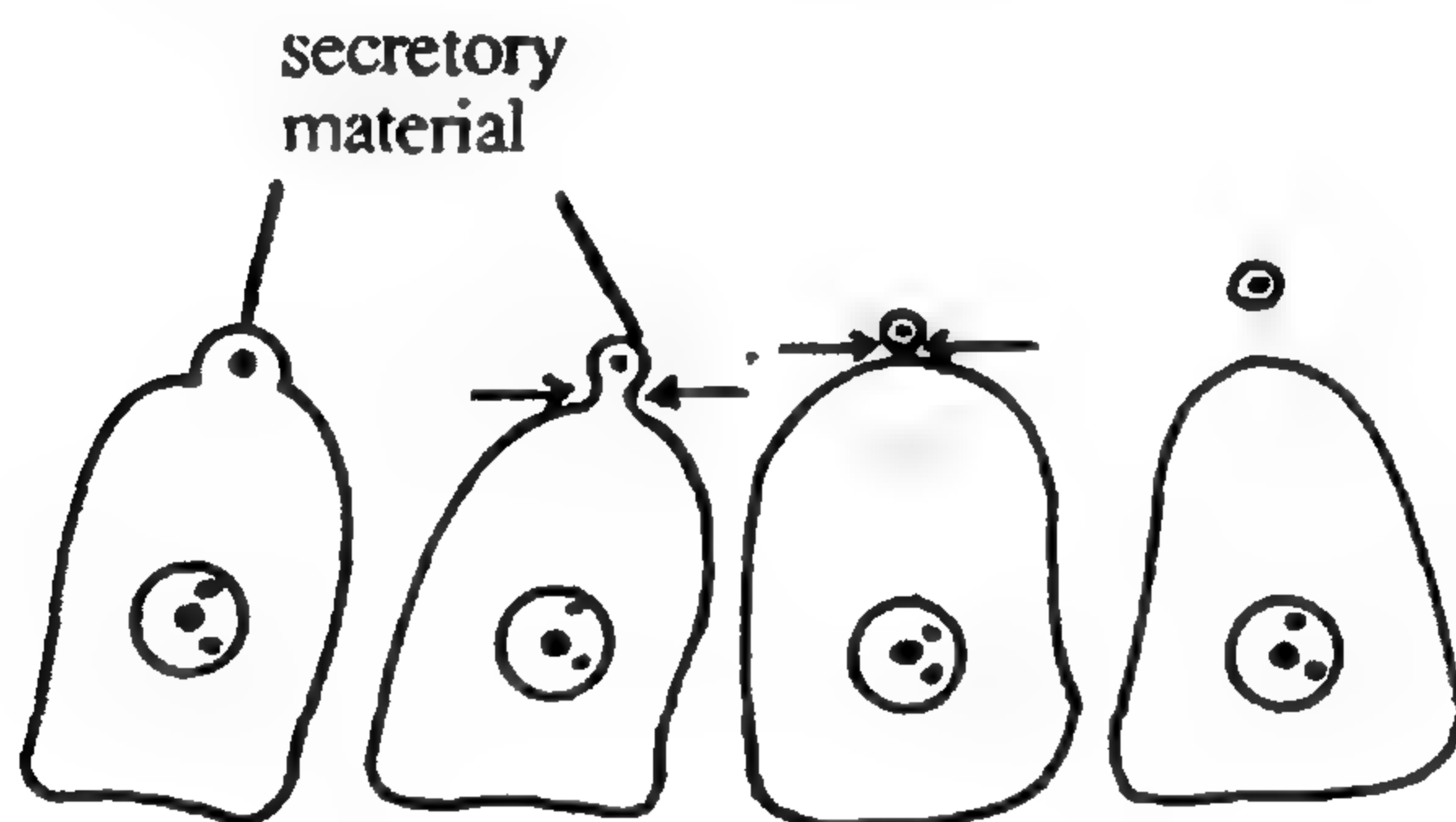
(شكل ٢٩)

أنماط خروج الإفرازات من الخلايا

يتصل بالخلية بواسطة عنق ضيق ، ويلى ذلك محور الجسم الإفرازى الى تجويف الغدة .

### ميكانيكية ( آلية ) النفاذية : Mechanism of permeability

توجد عدة نظريات لشرح نفاذية الخلايا يمكن تلخيصها فيما يلى :



(شكل ٣٠)

خلايا تبين الطريقة القمية لخروج الإفرازات

١ - يرى دانييللى (١٩٥٤) أن هناك موادا معينة تدخل الخلايا عن طريق الثقوب الموجودة فى غشاء البلازما ، ويدخل البعض الآخر بواسطة الانتشار الغشائى البسيط . وتلك الأخيرة هى التى تكون قابلة للذوبان فى الدهون ، أما التى لا تذوب فى الدهون فان المواد ذات الجزيئات الصغيرة تمر خلال الثقوب بمعدل أسرع عن المواد ذات الجزيئات الكبيرة .

٢ - يرى بعض الباحثين أن هناك علاقة وثيقة بين النفاذية والأرض أو العمليات الحيوية للخلية ، ويعنى آخر فإن مرور المواد يتم بسهولة أكثر عندما تكون هذه المواد متطلبة لعمليات التحول الغذائى فى الخلية . مثال ذلك ينفذ الحامض الأمينى بسهولة عندما يكون متطلبا لتحتويه خلية معينة فى مادتها البروتينية . كذلك فى حالة السكريات تنفذ جزيئات الجلوكوز بسهولة كبيرة بينما تنفذ جزيئات السكريات الأخرى بصعوبة . والسبب فى ذلك أن الجلوكوز مطلوب بشدة لعمليات التحول الغذائى فى الجسم وغالبا ما تستخدمه الخلية حال وصوله اليها ، بينما السكروز الذى يستخدم ببطء فإنه ينفذ إلى داخل الخلية ببطء أيضا .

٣ - وهناك من يرون أن اختراق الأيونات لغشاء الخلية يكون دائما مرتبطا بالتنفس الخليا . ولذلك فإن للانزيمات التنفسية دورا بالغ الأهمية فى هذا الشأن . وبصورة عامة فإن الانزيمات المختلفة تلعب دورا عاما فى مرور الفوسفات والسكريات . وقد وجد روتستين (Rothstein) فى عام ١٩٥٤ أن انزيم الفسفاتيز متركز فى غشاء الخميرة ، وإن هذا الإنزيم له أهمية كبيرة فى نفاذية الفسفاتات والجلوكوز .

وبجانب ذلك فإن تفاعل جومورى الخاص بانزيم الفسفاتيز يوضع نشاطا بالغا لهذا الانزيم فى أغشية الخلايا وبخاصة تلك التى لها القدرة على امتصاص الجلوكوز مثل خلايا الكلية والأمعاء .

ويرى ديميس Demis (١٩٥٤) أن إنزيم الإنفرتيز يوجد فى غشاء الخلية . ومن المعروف أن هذا الانزيم مرتبط بمرور السكريات داخل الخلايا .

٤ - هناك أيضا من يرى أن حامض الريبونوكليك (RNA) له علاقة قوية بخاصة النفاذية . وقد بنى هذا الرأى على أساس أن أغشية الخلايا تعطى تفاعلا موجبا قويا عند الكشف على حامض الريبونوكليك ( ح ر ن ) . وعلى هذا فعندما أضيف انزيم الريبونوكليز (ribonuclease) لبيض الحيوانات البرمائية فإنه قد أثر تأثيرا قويا على نفاذية الخلايا للأيونات .

٥ - تدل دراسات الفيزياء الحيوية على أن تبادل الأيونات يتم خلال الثقوب المشحونة بشحنات كهربائية . وتفسير ذلك أن غشاء البلازما يحتوى على ثلاثة أنواع من الثقوب : بعضها لا يحمل شحنات كهربائية ، والبعض به شحنات موجبة ، والنوع الثالث سالب الشحنة . وتعمل الثقوب موجبة الشحنات على جذب الأيونات السالبة ( مثل كل )



بينما تصد الأيونات الموجبة ( ص + مثلا ) . ويحدث عكس ذلك بالنسبة للثقوب سالبة الشحنة . ويعتقد أن هذه الثقوب توجد فى الطبقة البروتينية لغشاء البلازما .

### أهمية نفاذية غشاء الخلية فى حياة الكائن الحى :

#### Role of cell permeability in the life of the organism

للفاذية دور بالغ الأهمية فى تنظيم النشاط الحيوى للخلايا وبالتالى للكائن الحى بأكمله . فغشاء الخلية له خاصية معينة للاختيار تمكنه من السماح بالانتشار السريع لمواد معينة مستطبة بصفة مستمرة للجسم مثل الجلوكوز والأحماض الأمينية التى تحتاجها الخلايا لبناء بروتيناتها . اما المواد التى يتطلبها الجسم بمعدل أقل مثل سكر القصب ( sucrose سكروز ) فانها تنتشر بمعدل أقل إلى داخل الخلية . كذلك ، فإن الأكسجين وهو مطلوب بمعدل عال له قدرة كبيرة على النفاذية .

ومن الناحية الأخرى ، فإن النواتج الأولية للجلوكوز الذى ينتفع به ، على سبيل المثال فى العضلات المتقبضة وذلك مثل مشتقات الجلوسرول التى لها قيمة كبيرة للخلايا ، ولذلك فإن غشاء الخلية لا يسمح لها بالنفاذ الى الخارج بسهولة .

ويحدث أثناء العمل العضلى أن يتولد حامض اللاكتيك (lactic acid) وهو ذو تأثير سام إذا ترك ليتراكم فى الخلايا العضلية ولذلك فإن غشاء الخلية يسمح لهذه المادة بالنفاذ خلاله بسهولة إلى الأوعية الدموية المحيطة حتى يتخلص منها الجسم .

وبالنسبة للمواد النافعة للجسم التى يكون غشاء الخلية نفاذا بالنسبة لها فانها تختزن فى الخلايا عن طريق تحويلها من شكل الى آخر ، وذلك بأن تتحول الأحماض الأمينية الى بروتينات ، والأحماض الدهنية الى دهون ، والسكريات الى جليكوجين . وتختزن هذه المواد فى الخلايا اذا ان غشاء الخلية لا يسمح لها بالنفاذ الى الخارج . كذلك تلعب ظاهرة النفاذية دورا هاما فى التخلص من المواد السامة الضارة بالجسم . ويحدث ذلك عن طريق ازالة السموم من هذه المواد ، وفى هذه الحالة تقترب هذه المواد السامة بالأحماض الأسينية أو بهامض الكبريتيك وبذلك فان البروموينزين أو المتبول هى مواد سامة تكونها بعض الخلايا يتم تحويلها إلى جزئيات أخرى ، وهذه الجزئيات لا يمكنها أن تنفذ الى داخل الخلايا ، وبمجرد وصولها إلى الدورة الدموية يتم رشحها بواسطة الكهات (glomeruli) فى الكلية حيث تم داخل الأنابيب الكلوية ولا يعاد امتصاصها من المواد البولية الموجودة فى هذه الأنابيب . وبذلك تمنع هذه المواد السامة من الوصول الى داخل الخلايا ويصبح طردها إلى خارج الجسم فى البول مؤكدا .

## الفصل السادس

السيتوبلازم الأساسى THE GROUND CYTOPLASM  
الشبكة الاندوبلازمية ENDOPLASMIC RETICULUM  
الارجاستوبلازم ERGASTOPLASM  
الريبوزومات RIBOSOMES  
الميكروومات MICROSOMES

يظهر السيتوبلازم الأساسى أو الهيالوبلازم (hyaloplasm) تحت الميكروسكوب الضوئى على هيئة مادة ليس لها شكل أو تركيب محدود . ويوجد مطمورا فى هذه المادة بعض التراكيب الخلوية الحية مثل جهاز جولجى والميتوكوندريا . وقد لوحظ فى بعض الخلايا أن بعض مناطق الهيالوبلازم تصبغ بالصبغات القاعدية ويسمى هذا النوع السيتوبلازم القاعدى (basophilic cytoplasm) أو الكروميدى (chromidial cytoplasm) . وقد أطلق جارنر (Garnier) فى عام ١٨٨٧ على هذا السيتوبلازم لفظ أرجاستوبلازم (argastoplasm) ويشتمل هذا الإرجاستوبلازم على مناطق السيتوبلازم التى تميل الى الأصباغ القاعدية مثل أجسام نسل فى الخلايا العصبية وبعض الكتل الموجودة فى الخلايا الكبدية .

ويتكون الإرجاستوبلازم من الحبيبات التى تصبغ بالأوزميوم وهى التى تحتوى تركيز مرتفع من البروتين النووى (ribonucleo protein, RNP) . وقد تكون هذه الحبيبات منتشرة فى السيتوبلازم أو متصلة بالأغشية التى تحيط بتجاويف داخلية ( الشبكة الاندوبلازمية ) . ويطلق على الإرجاستوبلازم فى حالة وجود هذه الحبيبات متصلة بالشبكة الاندوبلازمية الإرجاستوبلازم المنظم (organized ergastoplasm) . أما اذا وجدت الحبيبات فقط دون وجود الشبكة الاندوبلازمية سمي هذا النوع الأرجاستوبلازم غير المنتظم (unorganized ergastoplasm) .

### الشبكة الاندوبلازمية ENDOPLASMIC RETICULUM

أوضحت الدراسات التى أجريت بواسطة الميكروسكوب الالىكترونى أن السيتوبلازم الأساسى أو الهيالوبلازم يحتوى على تركيب دقيق أطلق عليه بورتير (Porter)

فى عام ١٩٥٤ الشبكة الاندوبلازمية . ويوجد هذا التركيب فى جميع الخلايا الحيوانية ما عدا كرات الدم الحمراء مكتملة النمو .

والشبكة الاندوبلازمية عبارة عن جهاز يوجد فى السيتوبلازم ويتكون من تجاويف على شكل أنابيب أو حوصلات أو كلاهما . وتحاط هذه التجاويف بأغشية رقيقة . وفى بعض أنواع الخلايا ، مثل خلايا الكبد والبنكرياس تكون هذه التجاويف الغشائية كثيرة جدا ، بينما فى بعض الأنواع الأخرى يقل عددها بشكل ملحوظ كما هو الحال فى الخلايا العضلية . ووجود هذه الشبكة الاندوبلازمية ( الفجوات المحاطة بأغشية ) يقسم السيتوبلازم الى منطقة داخلية ( وهى التجاويف ) مفصولة عن المنطقة الخارجية أو مادة السيتوبلازم الأساسى (Cytoplasmic matrix) . وفى المنطقة الأخيرة يمكن تمييز العضيات السيتوبلازمية ( وهى عضيات حية ) والمحتويات غير الحية ، ولذلك تعتبر المادة الخلالية (matrix) أى مادة السيتوبلازم الأساسى هى أهم جزء فى الخلية ، ويقوم ما بها من مكونات بالوظائف البنائية فى الخلية . كما تحتوى هذه المنطقة أيضا على الأنزيمات اللازمة لانتاج الطاقة وخاصة فى عملية التنفس اللاهوائى . بالإضافة الى ذلك فإن المادة الخلالية للسيتوبلازم هى التى يحدث فيها تميز الالياف فى الخلايا المتخصصة وذلك مثل الياف الكيراتين والليفات العضلية واليفات العصبية والأبنيبيات العصبية . كذلك فان الكثير من الخصائص الميكانيكية للسيتوبلازم مثل المرونة والتقبض والصلابة والحركات الحلوية الداخلية (cyclosis) لها علاقة هامة بالمادة الخلالية للسيتوبلازم .

وقد لوحظ التنظيم الشبكى للشبكة الاندوبلازمية لأول مرة فى مزارع الأنسجة حيث وجد أن جميع أجزائها تكون جهازا متصلا . على أن هذا التركيب ليس ثابتا أو صلبا فهو يتكسر إلى حوصلات منفصلة فى حالة تدهم الخلية أو تحللها .

وتختلف قطاعات أجزاء الشبكة الاندوبلازمية اختلافا بينا عن بعضها ، فقد تكون مستديرة أو مستطيلة وذلك تبعا لاتجاه تقطيع العينات .



## انواع الشبكة الاندوبلازمية Types of endoplasmic reticulum

### ١ - الشبكة الاندوبلازمية المحبة او الخشنة :

#### Granular of rough endoplasmic reticulum

يتميز هذا النوع بوجود الكثير من الحبيبات الدقيقة مرتبة على السطح الخارجى لأغشية الشبكة الاندوبلازمية . وهذه الحبيبات غنية بمادة ح ر ن والبروتينات ولذلك تسمى الحبيبات النووية (RNP) أو الريبوزومات (ribosomes) . كذلك توجد حبيبات مشابهة فى المادة الخلالية للسيتوبلازم .



(شكل ٣١)

شبكة اندوبلازمية خشنة

وتكون الشبكة المحبة واضحة التكوين فى المناطق القاعدية ( التى تميل للصبغة القاعدية ) فى السيتوبلازم ، أى الارجاستوبلازم حيث تبدو مركزة فى المناطق القاعدية من الخلايا خاصة الخلايا افرازية مثل خلايا الجزء القنوى من البنكرياس . وتوجد معظم اجزاء الشبكة الاندوبلازمية على هيئة تراكيب صفاتحية الشكل او مفلطحة وتحتوى هذه الاجزاء

على مواد متراكمة تسمى المحتويات داخل الصهاريج (intracisternal inclusions) والشبكة المحيية واسعة الإنتشار فى الخلايا النامية وفى الخلايا التى لها علاقة بتكوين البروتينات .

## ٢ - الشبكة الاندوبلازمية الملساء ( غير المحبب )

Agranular of smooth endoplasmic reticulum

يتميز هذا النوع بعدم وجود الريبوزومات . وغالبا ما تكون وحداتها أنبوية الشكل .



(شكل ٣٢)

شبكة اندوبلازمية خشنة فى خلية عصبية حركية

ويوجد هذا النوع فى الخلايا الطلائية الملونة فى شبكة العين وكذلك فى الخلايا العضلية الإرادية .

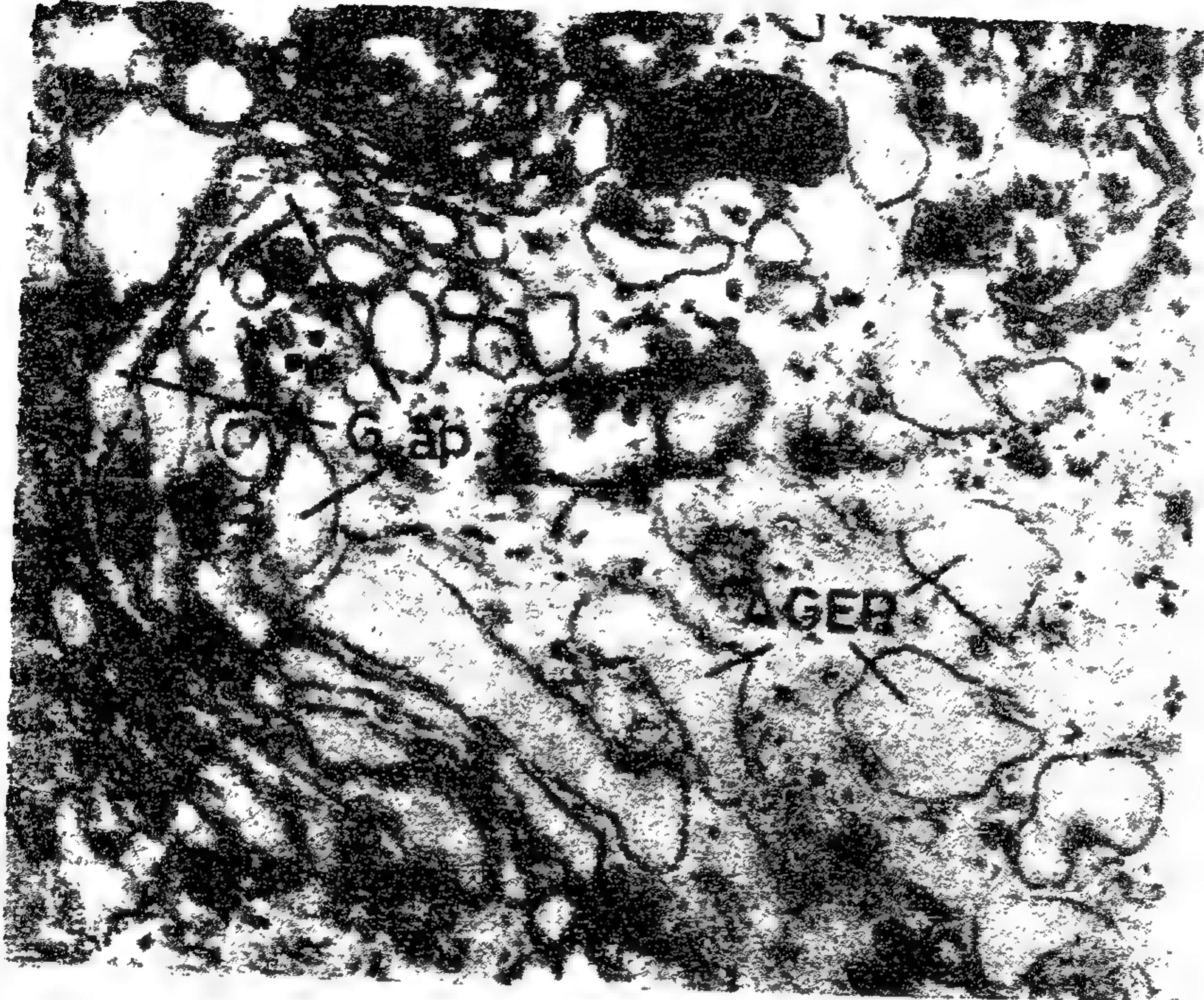
هذا ، وقد يوجد النوعان ( الحبيبية وغير الحبيبية ) معا فى خلية واحدة وذلك مثل الخلية الكبدية حيث تحتل الشبكة الاندوبلازمية المحيية المنطقة المركزية من الخلية بينما توجد الشبكة الملساء عند حافة الخلية .



### العلاقة بين الشبكة الاندوبلازمية والغشاء النووي :

Relationship between the ER and nuclear envelope :

ترتبط الشبكة الاندوبلازمية ارتباطا وثيقا بالغشاء النووي الذى يتكون من طبقتين ، تكون الخارجية منها على اتصال بالشبكة الاندوبلازمية ، ولذلك اعتبر الغشاء النووي جزءا من الشبكة الاندوبلازمية . وترى بورتير Porter ( ١٩٦٠ ) ان الغشاء النووي يمثل الجزء المستديم



(شكل ٣٣)

شبكة اندوبلازمية خشنة وجهاز جولجى

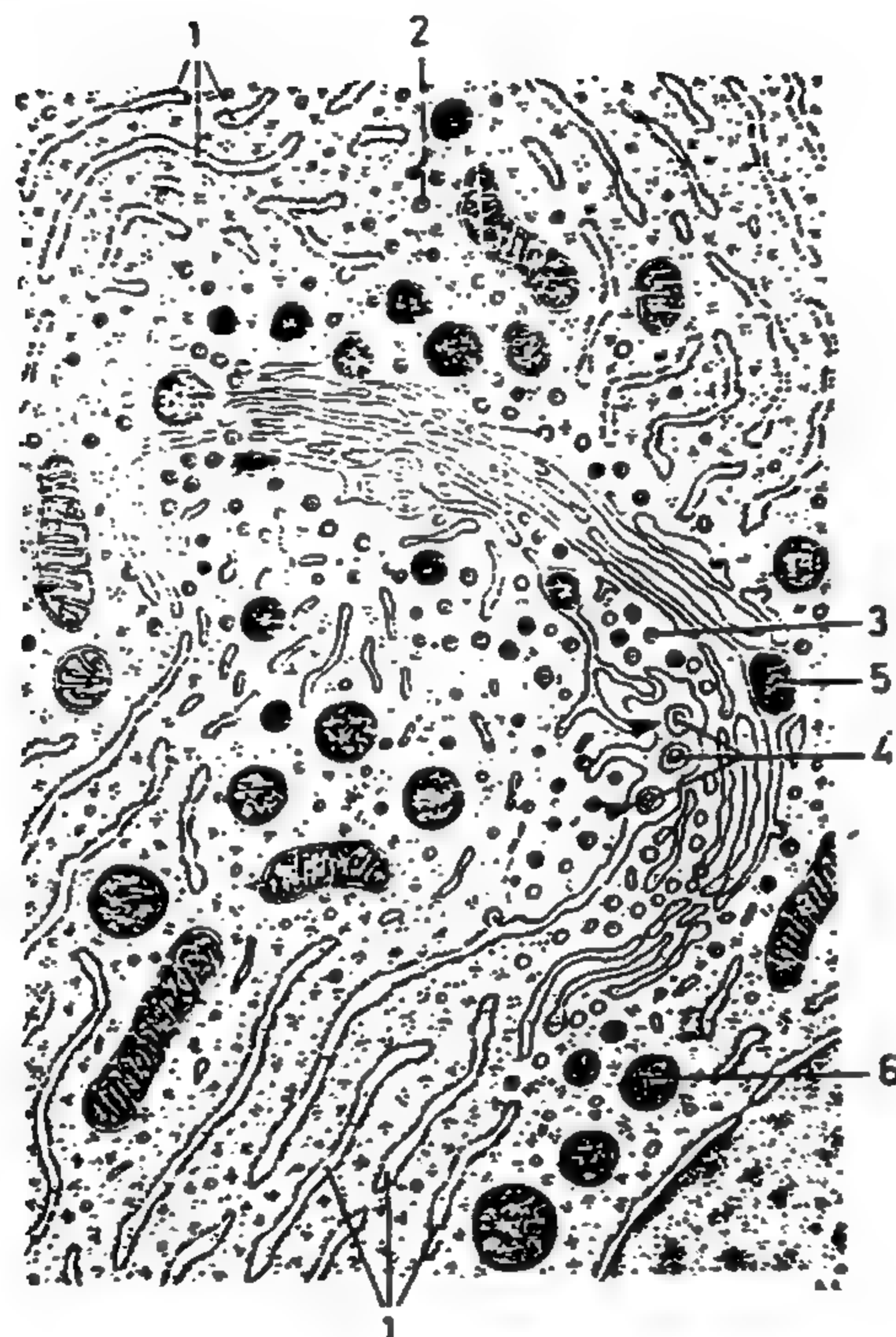
من هذا التركيب الشبكي وان الأجزاء السيتوبلازمية ما هى إلا مشتقات أو امتدادات من هذا الغشاء . وهذا يعلل وجود الشبكة الاندوبلازمية فى كرات الدم الحمراء حديثة التكوين واختفائها من الخلايا مكتملة النمو .



### أهمية الشبكة الإندوبلازمية :: Significance of the endoplasmic reticulum

تقوم الشبكة الإندوبلازمية بدور هام في بعض الأنشطة الخلوية وبخاصة تكوين البروتينات (Protein synthesis) والافرازات الخلوية (secretions).

ويرى بعض العلماء أن الشبكة الإندوبلازمية المحيية تستطيع احتواء الاحماض الامينية وتحويلها الى بروتينات . وقد استدل على ذلك من وجود حبيبات خام الانزيمات



(شكل ٣٤) شبكة اندوبلازمية خشنة في خلية عصبية افرازية

(zymogen granules) في التجاويف المنتفخة للشبكة الإندوبلازمية في خلايا البنكرياس . كذلك وجدت مادة الالبومين متركزة في تجاويف الشبكة الإندوبلازمية في خلايا البنكرياس . كذلك وجدت مادة الالبومين متركزة في تجاويف الشبكة الإندوبلازمية في الخلايا المبطننة لقناة البيض في الطيور . كما لوحظ ان التجاويف المتسعة لهذه الشبكة مليئة بالمواد الغروية في خلايا الغدة الدرقية (Wissig, 1960).

ويعتقد أن البروتينات حديثة التكوين أو الإنزيمات تمر من الريبوزومات إلى تجويف الشبكة الإندوبلازمية حيث تتكثف على هيئة حبيبات . وتنقل هذه المواد الافتراضية من مكان تكثيفها الابتدائي هذا على هيئة حبيبات أو محاليل ذائبة إلى جهاز جولجي حيث تتحول إلى حبيبات متماسكة ثم تنطلق بعد ذلك إلى الستوبلازم ومنه إلى خارج الخلية .

وترتبط الشبكة الإندوبلازمية الخشنة ارتباطا وثيقا بنمو الخلايا وتميزها . ففي الهيدرا مثلا وجد أن الخلايا البينية التي تنشأ منها الخلايا اللاسعة غنية جدا بالحبيبات البروتينية النووية ولكنها خالية تقريبا من أي أثر للشبكة الإندوبلازمية . ولكن في مرحلة تالية ، عقب حدوث سلسلة من الانقسامات ، وعندما تبدأ الخلية في التميز يرى بها شبكة إندوبلازمية واضحة . بالإضافة إلى ذلك فإن الخلايا أثناء تميزها يزداد حجم الشبكة الإندوبلازمية فيها ثلاث - ٤ مرات عن حجمها في الخلايا الصغيرة غير المتميزة .

أما الشبكة الملساء فالأغلب أن لها علاقة بانتقال المؤثرات المنبهة (transmission of excitatory impulsis) في الخلية ( انظر الشبكة العضلية ) كما يلاحظ أن هذه الشبكة توجد بشكل متميز في الخلايا التي لها علاقة بإنتاج الدهون وإيضاً المواد الكربوهيدراتية وانتقال الأيونات وإخراج الألكتروليتات مما يشير إلى أن لها أيضاً علاقة بتلك الوظائف .

ومن الناحية المرضية ، فإن هذه الشبكة في بعض الحالات تتكسر إلى تجاويف منفصلة بعضها ضيق وبعضها متسع وذلك دون أي ارتباط واضح بالغشاء النووي .

### الريبوسومات ( الريبوزومات ) RIBOSOMES

ندرس الريبوزومات عادة عند دراسة الشبكة الإندوبلازمية حيث أن هذه الجسيمات توجد في الخلايا المتقدمة متصلة باغشية هذه الشبكة . ويعتبر دي روبرتس (De Reobertis) الريبوزومات جزءاً مستديماً من المادة الخلالية للخلية .

والريبوزوم جسيم ميكروسكوبي بالغ الدقة يتكون من حامض الريبونيوكلريك والبروتين وتلعب الريبوزومات دوراً هاماً في تكوين البروتينات protein synthesis في الخلية وهي العملية التي يتم أثناءها تجميع وتنظيم الأحماض الأمينية بطريقة معينة لتكون سلسلة من عديدات الببتيدات .

وتوجد الريبوزومات فى جميع الخلايا الحيوانية ما عدا خلايا الدم الحمراء مكتملة النمو. كما توجد فى البكتيريا حيث لا توجد شبكة اندوبلازمية ، وتوجد معظم الريبوزومات حرة التوزيع فى المادة الخلالية للسيتوبلازم فى خلايا الشبكية وخلايا النبات الميراثية والخلايا العصبية فى الجنين .

وتكون الريبوزومات فى الخلايا التى تلعب دورا فى تخليق البروتينات ( كخلايا المفرزة للإنتيمات ) متصلة بأجزاء معينة من أغشية الشبكة الاندوبلازمية . والمعتقد أن هذا الغشاء الدهنى البروتينى يقوم بدور هام فى إبعاد المواد البروتينية ، حديثة التكوين ، من الريبوزومات ويساعد فى نقلها وإخراجها .

والمكونات الأساسية للريبوزومات هى - كما سبق القول - البروتين وحامض الريبونيكليك بنسب متساوية تقريبا مع عدم وجود - أو وجود نسبة قليلة من الليبيدات وبعبارة أخرى ، فإن الريبوزوم حبيبة نووية بروتينية يكون فيها البروتين " ح ر ن " الريبوزومى باوزان مكافئة . ويلاحظ أن ح ر ن الريبوسومى يكون فى النوية ويخزن فيها تحت تأثير ع د ن .

وتعتبر الريبوسومات مكونات سيتوبلازمية فى الخلية إلا أن حبيبات مماثلة قد تم الكشف عنها فى الانوية . ويلاحظ أن الريبوزومات النووية أقل تجانسا من حيث حجمها ومحتوياتها من ح ر ن والبروتين عن شبيهاتها الموجودة فى السيتوبلازم .

وتوجد الريبوزومات حرة أو متصلة بأغشية الشبكة الاندوبلازمية ، وتكون الأخيرة وفيرة جدا فى الخلايا الحيوانية التى تفرز مواد بروتينية مثل الهرمونات أو الإنزيمات الهاضمة .

وتبدو الريبوسومات فى الميكروسكوب الإلكتروني كروية الشكل وقد تكون عسوية أو عديدة الاضلاع . ويتكون الريبوسوم من وحدتين صغيرتين محددتين يمكن فصلهما عن بعضهما بطرق عديدة وذلك مثل خفض تركيز أيونات المغنسيوم فى الوسط الموجود به تلك الريبوزومات . ويتراوح قطر الريبوزوم بين ١٥٠ - ٢٥٠ المجستروم ( ٣٠٠ المجستروم ) فى حالة الخلايا العضلية المخططة ) . ويعتبر بعض العلماء أن أجسام نسل ما هى إلا تجمعات كثيفة من الريبوزومات . ولكن هذا الرأى لا يزال فى حاجة الى بحوث أخرى لتأييده أو نفيه .



وهناك نوع آخر من الريبوزومات يطلق عليها عديدة الريبوزومات (polyribosome or polysome) وتتكون كل واحدة من ٤-٧ ريبوزومات يربطها خيط دقيق (قطره ١٠-٢٠ المجستروم) . وتعتبر هذه الأجسام الوحدات الوظيفية فى عملية تخليق البروتينات .

### الميكروسومات MICROSOMES

ليست الميكروسومات تراكيب متميزة فى الخلية ، وإنما هى تشكل مجموعة غير متجانسة من التراكيب الخلوية يمكن فصلها بالطرد المركزى .

فباستعمال جهاز القوة الطاردة المركزية ، يمكن الحصول على جزء به هذه الحبيبات الدقيقة تحت الميكروسكوبية ويسمى الجزء الميكروسومى "microsome fraction or microsomes" . ويوضح الفحص الدقيق لهذا الجزء وجود الثلاث مكونات الرئيسية للشبكة الاندوبلازمية ، وهى أغشية الشبكة ، والريبوسومات المتصلة بأسطحها الخارجية ومحتويات تجاويف الشبكة التى قد تكون عديمة الشكل أو على شكل حبيبات دقيقة ، وقد توجد أجزاء سيتوبلازمية أخرى كما هو الحال فى ميكروسومات الخلايا الكبدية التى وجد أنها تتكون من أجزاء من الشبكة الاندوبلازمية على هيئة حوصلات أو أنيببات منفصلة ، وقد تكون الريبوزومات متصلة بها أولاً تكون ، بالإضافة الى ذلك يحتوى هذا الجزء الميكروسومى على بعض أغشية جهاز جولجى وأجزاء أخرى . وفى الخلايا الكبدية شوهد الجليكوجين واللفيريتين وبعض القطرات الدهنية فى هذا الجزء الميكروسومى .

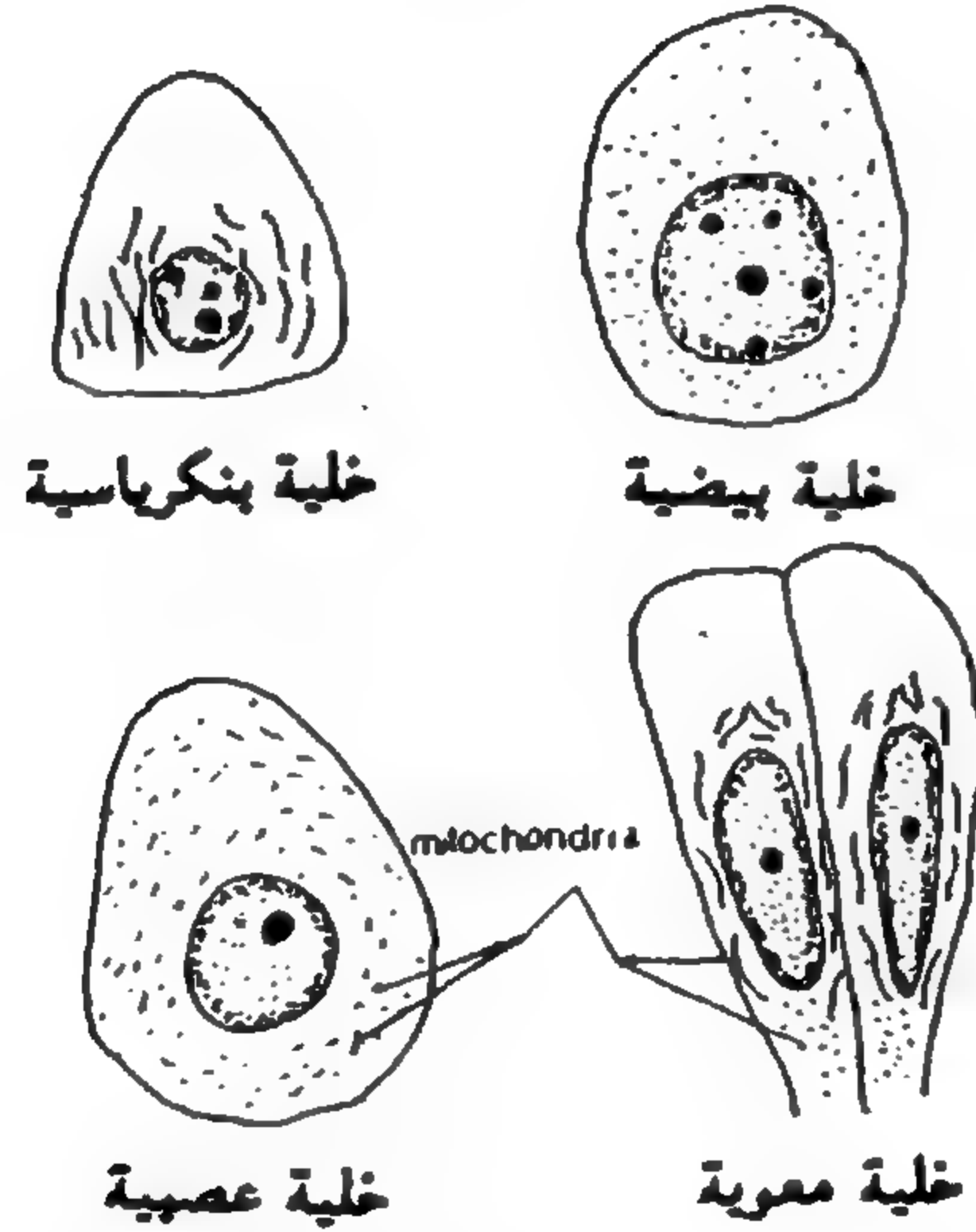


## الفصل السابع

### الميتوكوندريا MITOCHONDRIA

كان ألتمان (Altmann) أول من وصف الميتوكوندريا أو الكندريوسومات في الخلايا العصبية في عام ١٨٩٠ ، ثم تبعه بندا (Benda) في عام ١٨٩٧ ، وبعد ذلك أجريت بحوث كثيرة ثبت منها أن الميتوكوندريا موجودة في جميع الخلايا الحيوانية والنباتية .

والميتوكوندريا عضيات حية موجودة في سيتوبلازم الخلية . وترى بالميكروسكوب الضوئي على هيئة قضبان قصيرة أو خيوط دقيقة أو حبيبات صغيرة أو حوصلات . ويطلق



(شكل ٣٥)

نماذج من أشكال الميتوكوندريا في أنواع مختلفة من الخلايا

عادة على الأنواع التي توجد على شكل قضبان أو خيوط الكندريوكناتات (chondrioconts) ، أما الحبيبات فيطلق عليها كوندريوميتات (chondriomites) والكرية تسمى كندريوسفيرات (chondriosphete) .

ويذكر كاودري (Cowdry) أن هذه العضيات قد أطلق عليها حوالي خمسون اسما ،



ولكن ظل لفظ ميتوكوندريا هو الأكثر استخداما . ويتكون هذا الاسم من لفظين لاتينين " ميتوس (mitos) = خيط ، كوندروس (chondros) = حبيبة " .

وتعتبر الميتوكوندريا المولدات النباتية للطاقة (power plants) فى الخلايا ، أو ماكينات بيولوجية يتم فيها تحويل الطاقة الكيماوية الموجودة فى المواد الغذائية إلى نوع من الطاقة يتم استخدامه بواسطة الخلايا .

#### توضيح الميتوكوندريا (demonstration) :

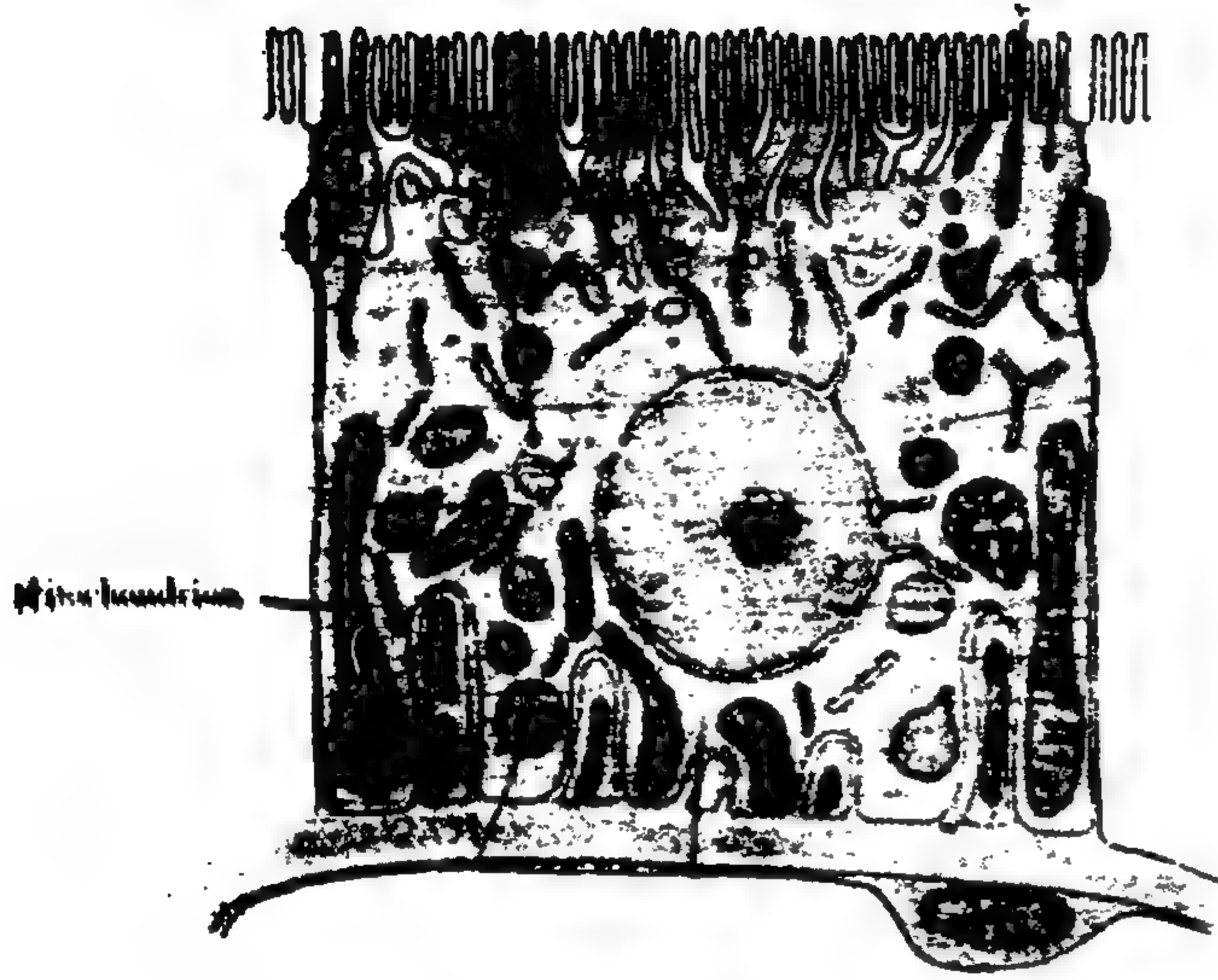
يمكن باستخدام ميكروسكوب التباين مشاهدة الميتوكوندريا فى الخلايا الحية . ولكن ليس من السهل رؤيتها بالميكروسكوب الضوئى العادى نظرا لأن معامل انكسارها منخفض . ويمكن صبغ الميتوكوندريا فى الخلايا الحية بمحاليل مخففة من صبغات جانس الخضراء وال سوداء (Janus green & janus black) . ويصبغ جانسى الأخضر الميتوكوندريا الحية بلون أخضر مشرب بالزرق . ويرجع هذا اللون الى انزيم سيتوكروم اكسيديز الموجود فى الميتوكوندريا ، فهو يعمل على الحفاظ على الصبغة فى صورتها المؤكسدة ( الملونة ) . ولكن هذه الصبغة تختزل إلى مادة قاعدية عديمة اللون فى السيتوبلازم المحيط بالميتوكوندريا .

وتصبغ الميتوكوندريا فى الخلايا المثبتة بواسطة الفكسين الحمضى لألتمان (Altmanns acidfuchsin) والومينات جديد الهياتوكسـلين (iron-alum haematoxylin) ومحلول ريجو (Regaud's fluid) ومحلول بندا اليفسجى البلورى (Bends's crystal violet) . والأليزارين (alizarin) ومحلول شامبى (champany's fluid) وغيرها .

والميتوكوندريا أجسام حساسة ولذلك فإنها قد تتفتت تحت تأثير المثبتات ولهذا يستخدم فى تثبيتها محاليل تعمل على الحفاظ على التركيب الدهنى البروتينى فيها وذلك تحت تأثير طوبن المدى لمحاليل مؤكسدة مثل رباعى أكسيد الأوزميوم وحامض الكروميك وبيكرومات البوتاسيوم .

### أشكال الميتوكوندريا : Morphology of mitochondria

شكل الميتوكوندريا ومكانها مميزة لكل نوع من أنواع الخلايا ( شكل ٣٥ ) . ففي خلايا البنكرياس تكون على هيئة خيوط طويلة ، بينما تكون حبيبية الشكل في البويضات والخلايا



( شكل ٣٦ )  
الميتوكوندريا في خلية كلوية

المنوية ، وفي الخلايا العصبية توجد الميتوكوندريا على هيئة حبيبات وقضبان قصيرة ، وفي الخلايا الطلائية للأمعاء تكون الميتوكوندريا بيضاوية عند قمة النواة وخطية على جانبيها بينما تكون على هيئة حبيبات في الجزء القاعدي للخلية . وقد يتغير شكل الميتوكوندريا في نفس الخلية تبعا لنشاطها كما يحدث في خلايا الكبد والبنكرياس ( شكل ٣٦ ) .

## عدم تجانس الميتوكوندريا Heterogeneity of mitochondria

وعلى الرغم من أن شكل الميتوكوندريا متجانس في الخلايا المختلفة في العضو الواحد ، إلا أنه قد يوجد أكثر من نمط في خلايا العضو الواحد كما هو الحال في كبد الثدييات . ويطلق على هذه الظاهرة " عدم تجانس الميتوكوندريا " (mitochondrial heterogeneity) . ويعتبر هذا الاختلاف مرتبطا بنشاط الخلايا المختلفة . فعند حافة الفصوص الكبدية تكون الميتوكوندريا خيطية ، وفي الخلايا المركزية الداخلية تكون الميتوكوندريا حبيبية الشكل ، بينما تحتوى المنطقة المتوسطة من الفصوص الكبدية على خليط من الميتوكوندريا الحبيبية والعضوية والخيطية . ويعتقد بعض العلماء أن المناطق الخارجية للفصوص تمثل أجزاء بالغة النشاط (maximum) وتكون المناطق المتوسطة بينهما متوسطة النشاط (intermediate activity) بينما تعتبر المناطق الداخلية بالغة الخمول (maximum repose) ، وتفسر ذلك بأن ، الوريد الكبدى البابى الذى يحمل المواد الغذائية المهضومة من الفئاة الهضمية يصل الى حواف الفصوص الكبدية أولا ، وهنا يتطلب نشاطا مرتفعا في تلك الخلايا .

ويختلف حجم (size) الميتوكوندريا في الخلايا المختلفة ، ففي معظم الخلايا يكون عرض الميتوكوندريا ثابت تقريبا ( حوالى ٥ ر. ميكرون ) ولكن أطوالها تختلف وقد تصل إلى ٧ ميكرونات . ويتوقف طول الميتوكوندريا على نشاط الخلية ، وبذلك يمكن مشاهدة أنواع رفيعة جدا ( ٢ ر. ميكرون ) أو قضبان غليظة نسبيا ( ٢ ميكرون ) . كذلك يتوقف حجم الميتوكوندريا وشكلها على الضغط الأسموزى والأس الهيدروجينى للمثبت المستخدم .

ويختلف عدد (number) الميتوكوندريا تبعا لنوع الخلايا ووظائفها وحالتها ، فمثال يبلغ متوسط عدد الميتوكوندريا في الخلية الكبدية للثدييات ٢٥٠٠ تقريبا ، وينخفض هذا العدد انخفاضا كبيرا ( ٢٠٠ - ٨٠٠ ) عندما تصبح الخلية الكبدية سرطانية .

وتنتشر الميتوكوندريا عادة في أنحاء السيتوبلازم ولكنها في حالات قليلة قد تتركز في مناطق معينة في السيتوبلازم كما في خلايا الكلية ( شكل ٣٦ ) حيث تتجمع الميتوكوندريا في المنطقة القاعدية للخلية قريبا من الشعيرات الدموية . وقد تتكدس الميتوكوندريا حول النواة أو عند حافة الخلية ، إلا أن هذا التواجد يشاهد عادة في الحالات المرضية .



كذلك يشاهد هذا التوزيع فى الخلايا التى تحتوى على كميات كبيرة من المحتويات الخلوية ( مثل الجليكوجين والدهون ) التى تدفع الميتوكوندريا إلى منطقة معينة من الخلية .

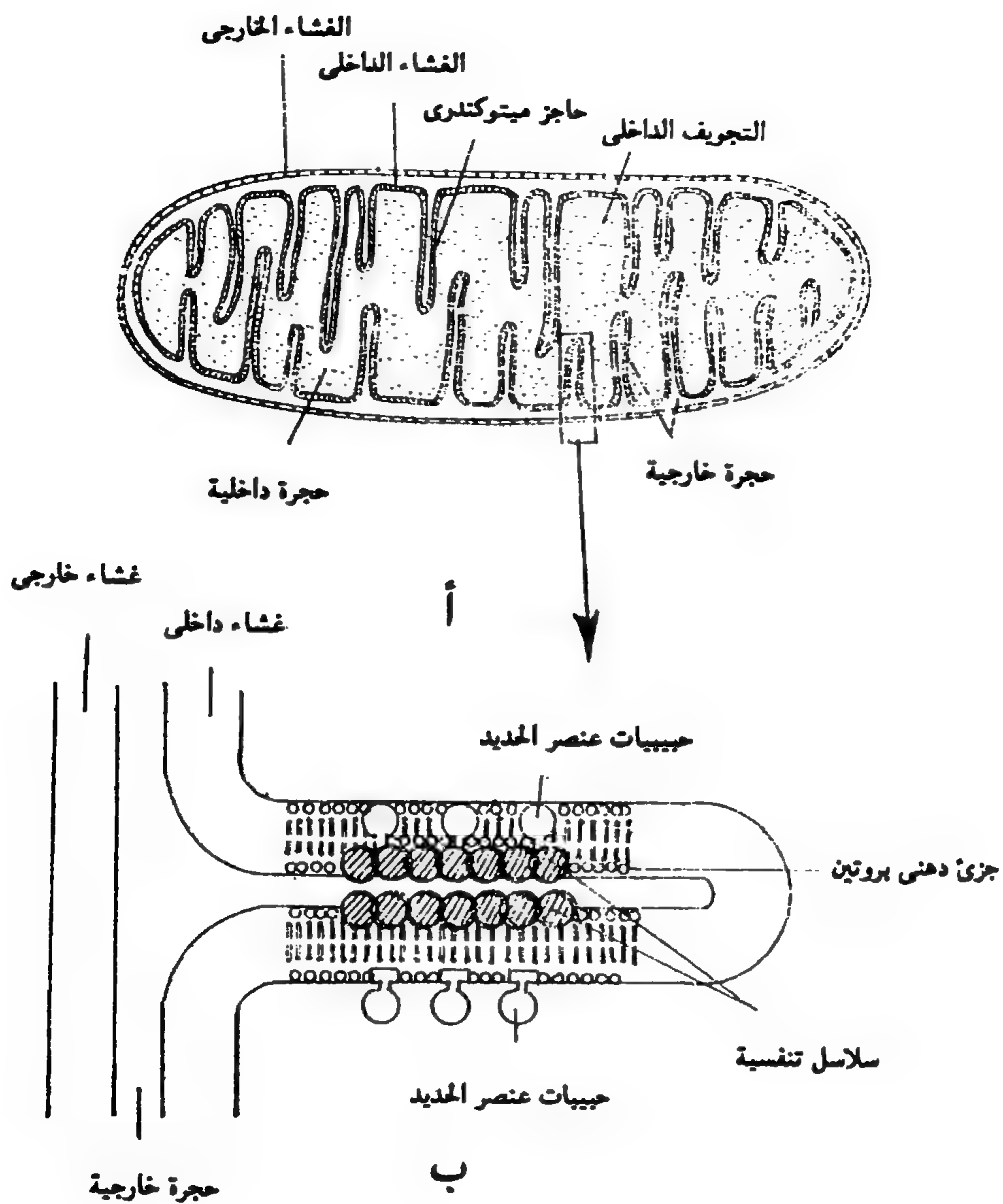
وتوزيع الميتوكوندريا مرتبط بوظيفتها كمصدر للطاقة ، فهى تتحرك بحرية فى بعض الخلايا حاملة معها الادينين ثلاثى الفوسفات (ATP) إلى حيث تحتاج الخلية ، وفى حالات أخرى تتركز الميتوكوندريا فى المكان الذى يكون فى حاجة أشد إلى مزيد من الطاقة . وفى خلايا شبكية العين ( القضبان والمخروطات ) تحتل الميتوكوندريا المنطقة الداخلية ، بينما تشاهد عند حافة السيتوبلازم فى الخلايا العصبية الحركية .

### التركيب الدقيق للميتوكوندريا (ultrastructure) :

تظهر الميتوكوندريا عند تصويرها بالميكروسكوب الالىكترونى مخاطة بغشاء خارجى أملس ( سمكه حوالى ٦٠ أنجستروم ) يبدو أنه يرتبط بخاصية النفاذية فى هذه العضيات . ويوجد للداخل من هذا الغشاء وعلى مسافة سمكها حوالى ٦٠ - ٨٠ أنجستروم غشاء آخر ( سمكه حوالى ٦٠ أنجستروم ) يمتد داخل تجويف الميتوكوندريا على هيئة عدد من الحواجز أو الفواصل (يطلق عليها الأعراف أو الحواجز الميتوكوندرية (mitochondrial ridges or cristae-mitochondriales) تقسم التجويف الداخلى إنقساماً غير تام إلى عدد من الحجرات الصغيرة . وعلى ذلك يقسم الغشاء الداخلى الميتوكوندريا إلى حجرتين : (أ) حجرة خارجية تقع بين الغشائين وتمتد داخل الحواجز الميتوكوندرية ، (ب) حجرة داخلية يحدها الغشاء الداخلى وتمتلئ بمادة كثيفة نسبياً يطلق عليها « المادة الخلالية للميتوكوندريا » " mitochondrial matrix " ( شكل ٣٧ و ٣٨ ) . وتكون هذه المادة متجانسة عادة ، ولكن تظهر فيها فى بعض الحالات مادة خيطية رقيقة أو حبيبات عالية الكثافة . وتعتبر هذه الحبيبات أماكن للربط بين الكاتيونات الثنائية خاصة المجنيزيوم والكالسيوم .

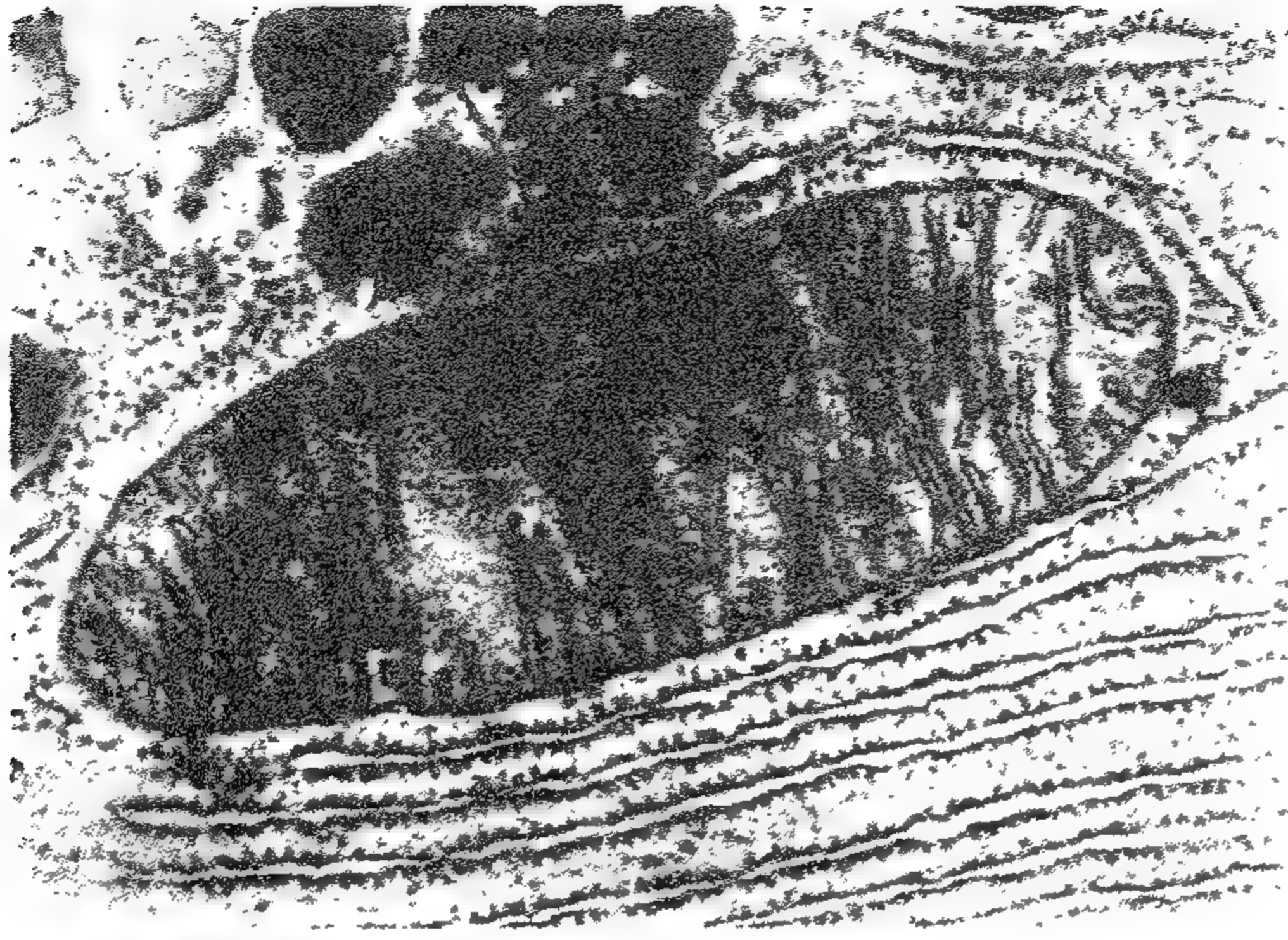
ولا يختلف تركيب الغشاء الخارجى للميتوكوندريا فى أى نوع من الأنواع ، ولكن الغشاء الداخلى والحواجز الميتوكوندرية متغيرة فى الأنواع المختلفة من الميتوكوندريا . ويختلف الغشاءان عن بعضهما فى الميتوكوندريا الواحدة .

وكما سبق القول فإن الحواجز الميتوكوندرية تقسم الحجرة الداخلية انقساماً غير كامل ،



(شكل ٣٧)  
التركيب الدقيق النموذجى لأحد الميتوكوندريا

وتمتد هذه الحواجز عرضيا عبر الميتوكوندريا أو طوليا موازية للمحور في البعض الآخر ، أو قد تكون حلزونية في بعض الأنواع ( شكل ٣٨ ) .

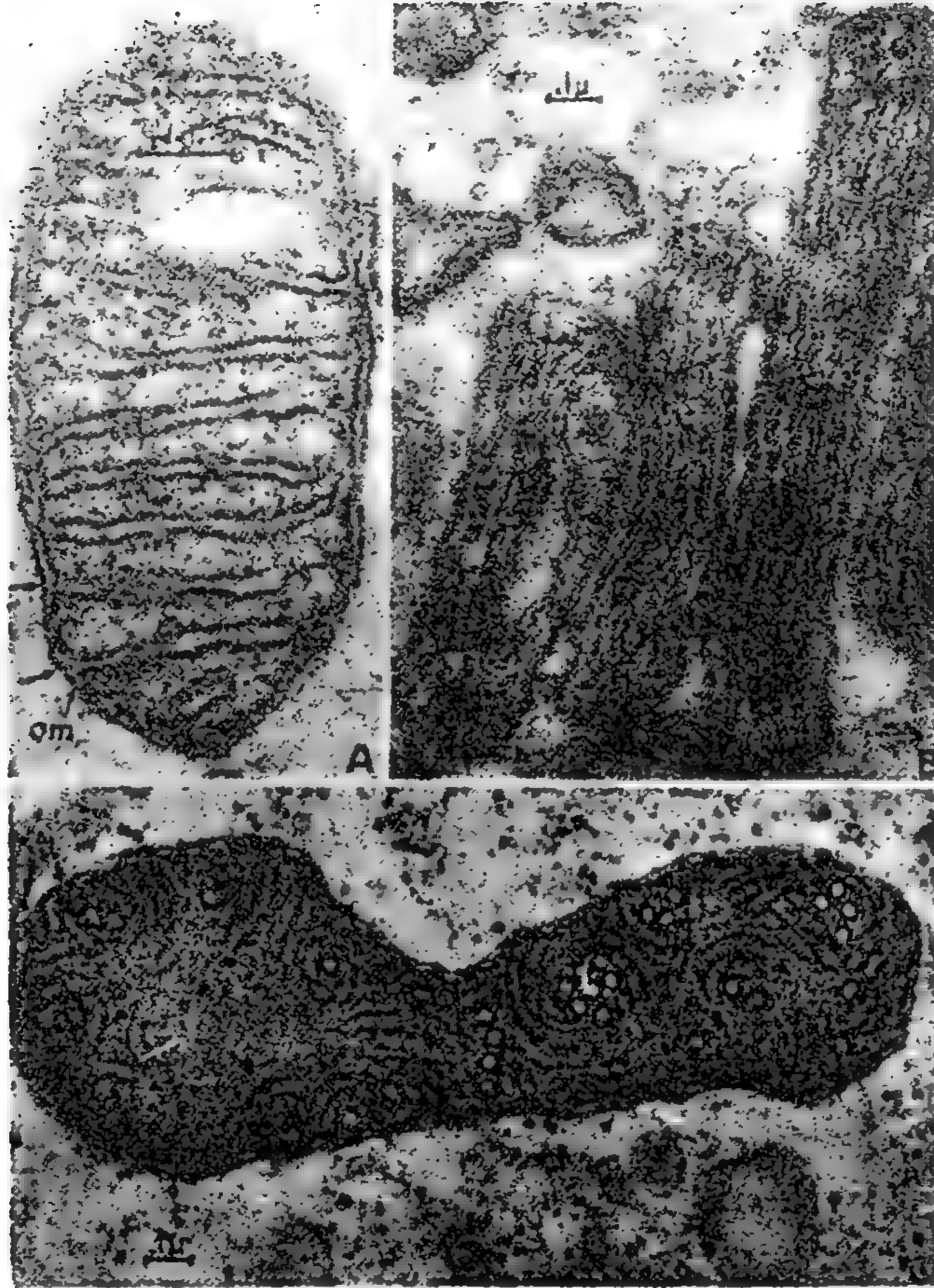


(شكل ٢٨)  
الميتوكوندريا بالميكروسكوب الالكتروني

وفي بعض الأنواع تتفرع هذه الحواجز مكونة شبكة كثيفة داخل الميتوكوندريا . ويعتبر وجود هذه الحواجز ومظهرها نوعا من التحور للحصول على سطح متسع تتم عليه العمليات الحيوية . وهذا واضح من فحص الميتوكوندريا في خلايا العضلات ( بما في ذلك عضلات القلب وعضلات الطيران ) حيث يلاحظ بها وفرة من الحواجز الميتوكوندرية (شكل ٣٩) .

كذلك تحتوي الميتوكوندريا على حبيبات بالغة الدقة موزعة بانتظام على الحواجز الميتوكوندرية ، وتمثل هذه الحبيبات تجمعات من الإنزيمات التنفسية وتحتوى كل ميتوكوندريا في الخلايا الكبدية على حوالى ١٥٠٠٠ من هذه التجمعات الانزيمية ، وقد يبلغ عددها ١٠٠٠٠٠ في خلايا عضلات الطيران ، ولذلك تعتبر الميتوكوندريا بطاريات انزيمية ( enzyme batteries ) .

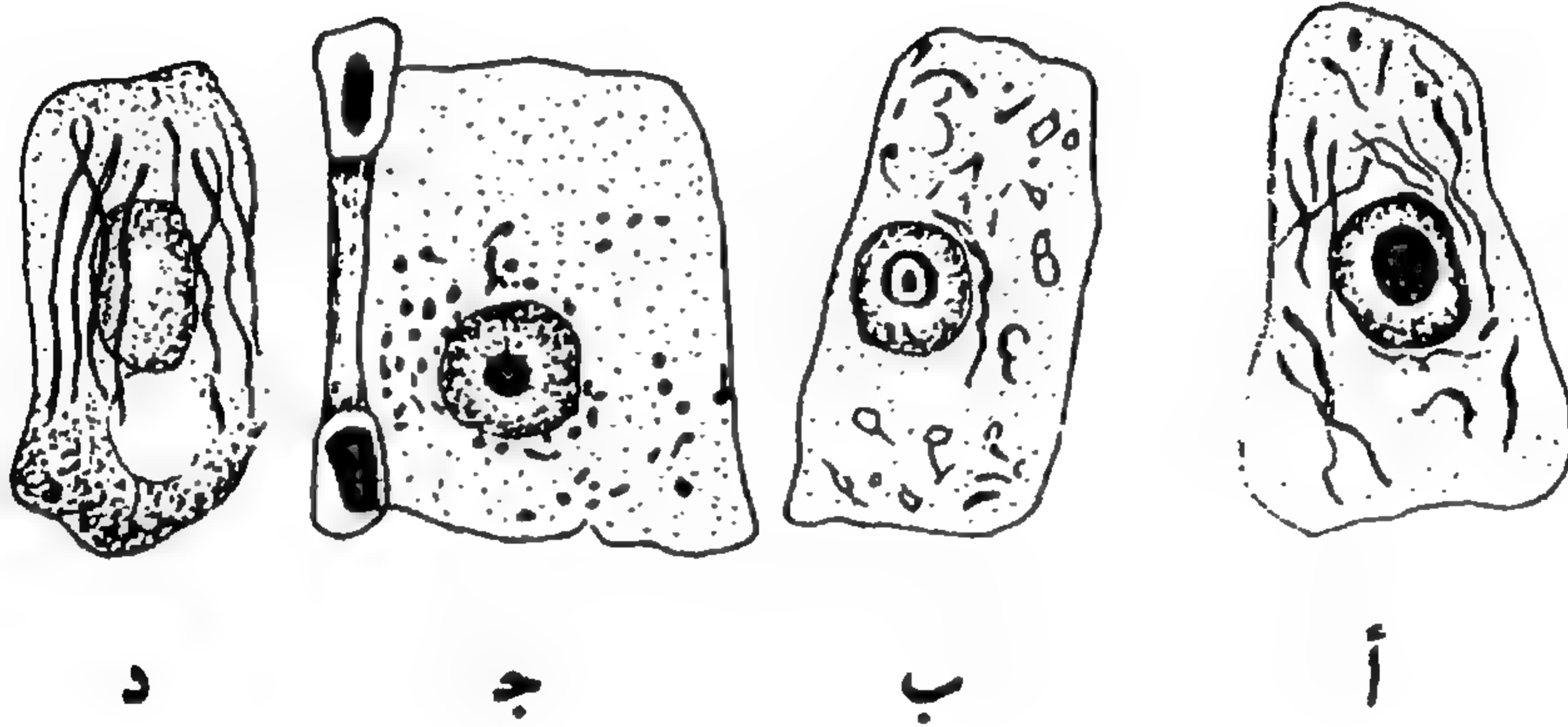




(شكل ٣٩)  
أنماط مختلفة لتنظيم الحواجز الميتوكوندرية ( بالميكروسكوب الالكترونى )

## سلوك الميتوكوندريا (Behaviour) :

تستجيب الميتوكوندريا لتغيرات الضغط الأسموزي الذي يحدث في الوسط الموجودة به . وتكون الميتوكوندريا دائما في حالة حركة مستمرة ، قد تكون حركة اهتزازية في اماكنها او حركة نشطة من منطقة إلى أخرى في السيتوبلازم . ويرى البعض أن الميتوكوندريا حساسة للحرارة وأنها تنصهر عند حوالي ٥٠° م وإن كان البعض الآخر قد أنكر ذلك .



(شكل ٤٠)

التغيرات التي تحدث في الميتوكوندريا في الخلايا الكبدية تحت تأثير التجويع والتغذية العادية

وترتبط بعض تغيرات الميتوكوندريا بحالتها الوظيفية ، فعلى سبيل المثال عند تجويع الحيوان لبضعة ايام تنتفخ الميتوكوندريا وتصبح مادتها الحلالية (matrix) راتقة صافية ويصحب ذلك تغير في تركيبها الداخلي . وعقب اغتذاء الحيوان تعود الميتوكوندريا الى حالتها العادية . ( شكل ٤٠ )

وللميتوكوندريا حساسية بالغة لما يحدث في الخلايا . ولهذا فان الضغط الهين على الأنسجة قبل تثبيتها كفيلا بتفتيت الميتوكوندريا الحيطية إلى حبيبات صغيرة . وفي خلايا الحيوان المصاب بالإسقربوط تنكسر الميتوكوندريا وتتجمع مع بعضها . وعند التسمم بالسيانور فإن الميتوكوندريا على الرغم من احتفاظها بشكلها إلا أن حركتها تقل بدرجة كبيرة . فاذا علمنا أن السيانور يبطئ بعض انزيمات التنفس ، فإن ذلك يلقي ضوءا على أن الميتوكوندريا لها وظيفة تنفسية في الخلايا .

وعند استخدام القوة الطاردة المركزية العالية تتكتل الميتوكوندريا نحو قطب الخلية البعيد عن المركز ( قوة مركزية طاردة Centrifugal force ) بينما يتجه جهاز جولجي نحو القطب القريب من المركز ( قوة مركزية جاذبة Centripetal force ) ، ومعنى ذلك أن الميتوكوندريا أثقل من اجسام جولجي ، كذلك يمكن استخلاص الميتوكوندريا من الخلايا الكبدية وذلك تحت تأثير القوة الطاردة المركزية .

وفى أثناء انقسام الخلية تظهر الميتوكوندريا ميلا نحو التجمع حول مغزل الخلية ، وعند الانقسام فإن الخليتين الناتجتين تتقاسمان الميتوكوندريا بالتساوى .

### التركيب الكيماوى للميتوكوندريا ووظائفها :

Chemistry and functions of mitochondria

يختلف التركيب الكيماوى للميتوكوندريا فى خلايا الأنسجة المختلفة فى الظروف المتباينة ، كما يتأثر بالتغيرات المرضية فى الخلايا ، وتحتوى الميتوكوندريا على كل من الليبيدات ( حوالى ٣٠٪ ) والبروتينات (حوالى ٧٠٪) . وقد اقترح بورن (Bourne) فى عام ١٩٤٢ أن الميتوكوندريا قد تكون محاطة بطبقة بروتينية تمنع عنها تأثير الصبغات الدهنية . ويعطى تفاعل ميلون (Millon reaction) - المميز للبروتينات - نتائج إيجابية مع الميتوكوندريا . وعندما يتم هضم او استخلاص البروتينات من الميتوكوندريا بواسطة أنزيم البيسين فإنه يتعذر عندئذ توضيح الميتوكوندريا بواسطة تفاعل ميلون .

وباستخدام الميكروسكوب الفلورسنتى تبين أن الميتوكوندريا تحتوى على فيتامين أ . وتعطى الميتوكوندريا أيضا تفاعلا موجبا مع ثلاثى كلوريد الانتيمون الذى يميز الكاروتينات (carotenoids) بصورة عامة . كما تمكن بعض الباحثين من توضيح الميتوكوندريا باستخدام نترات الفضة مع حامض الخليك مما يشير الى احتوائها على فيتامين ح . وقد أشار البعض أيضا الى وجود أنواع من فيتامين ب المركب (vitamin B-complex) فى الميتوكوندريا .

ويوجد الحديد (iron) فى الميتوكوندريا كعنصر أساسى فى تركيب إنزيمات السيتوكروم . ويرى بعض العلماء أن الميتوكوندريا تحتوى على إنزيمات بروتوليتية ( انزيمات محللة



البروتينات (proteolytic enzymes) . وقد توضح ذلك بالمثال التالي : شوهد في الأميبا أن المواد الغذائية الدقيقة تتجمع بجوار الميتوكوندريا ، وعندئذ تتكون فجوة غذائية (food vacuole) تحتوى عليهما معا . ويصحب هضم الطعام داخل تلك الفجوات اختفاء الميتوكوندريا تدريجيا مما يشير إلى استهلاك الميتوكوندريا في عملية الهضم .

والإنزيمات التنفسية (respiratory enzymes) مثل السيتوكروم المؤكسد ( سيتوكروم أكسيداز cytochrome oxidase ) وإنزيم نازع الهيدروجين السكسيني ( سكسينيك دي هيدروجيناز succinic dehydrogenase ) موجودة بوفرة في الميتوكوندريا . وعلى ذلك تعتبر الميتوكوندريا مراكز التنفس في الخلايا . وقد لاحظ جرين (Green) في عام ١٩٦١ أن الميتوكوندريا بالرغم من تفتتها إلى قطع صغيرة فإنها ظلت مستمرة في أداء وظائفها التنفسية . ويلاحظ أن سلاسل الأحماض الدهنية الطويلة تتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون والماء تحت تأثير الميتوكوندريا المفتتة . ويمكن الاستدلال على وجود الإنزيمات التنفسية في الميتوكوندريا من أن السيانيد - المعروف عنه أنه يعمل على تثبيط العمليات التنفسية - يتسبب أيضا في أن الميتوكوندريا تعجز عن أداء وظائفها التنفسية .

ولتوضيح دور الميتوكوندريا في التنفس ، وجد كل من موسى وبنهاوي في عام ١٩٦٢ أن المبيدات الحشرية تؤثر على الميتوكوندريا في الخلايا العصبية للحشرات ، فتتجمع الميتوكوندريا مع بعضها مكونة كتلا كبيرة الحجم نسبيا . وقد انعكس ذلك على تنفس الحشرة فأصبح عميقا وعنيفا . ويشير ذلك إلى أن تجمع الميتوكوندريا مع بعضها نتج عنه اختزال أسطح الميتوكوندريا التنفسية ، ونتيجة لذلك فإن كمية قليلة من الأكسجين هي التي يمكن لخلايا هذه الحشرات الاستفادة منها، مما دفع الحشرات إلى بذل مجهود كبير في عملية التنفس لكي تعمل على إسراع معدلها . وعقب ذلك أخذت الحركات التنفسية في البطء بصورة تدريجية حتى توقفت تماما وماتت هذه الحشرات .

ويعمل العديد من الإنزيمات والإنزيمات المشاركة (coenzymes) داخل الميتوكوندريا في تنظيم متناسق ، هذا بالإضافة إلى عدة عوامل مشاركة وفيتامينات ومعادن أساسية لقيام الميتوكوندريا بوظائفها . والوقود الأساسي الذي تتطلبه الميتوكوندريا هو الفسفات والفسفات ثنائي الأدينين (ADP) ، وينتج عن ذلك في النهاية الفسفات ثلاثي الأدينين (ATP) بالإضافة إلى ثاني أكسيد الكربون والماء .

والمعروف أن المواد الغذائية الأساسية الثلاثة ( الكربوهيدرات والبروتينات والدهون ) تتحول فى النهاية داخل السيتوبلازم إلى استيل إنزيم A المرافق ( acetyl coenzyme A ) . وعندما تصل هذه المادة إلى داخل الميتوكوندريا فإن مجموعة الحمضات تدخل دورة كريبس ثلاثية الكاربوكسيل " Kreb's tricarboxylic acid cycle " ( وتسمى كذلك حامض الليمونيك citric acid cycle ) حيث تحدث فيها سلسلة معقدة من التغيرات تحت تأثير إنزيمات مختلفة تؤدي إلى انتزاع مجموعة الكاربوكسيل منها ، حيث يفقد ك<sup>٢</sup> فى أماكن عديدة من هذه الدورة . ويزال أزواج من الإلكترونات ( أو المكافئ لها من ذرات الهيدروجين ) بواسطة الإنزيمات نازعة الهيدروجين ( dehydrogenases ) ، ثم تدخل السلسلة التنفسية ، وفى نهايتها تتحد بالأكسجين الجزئى مكونة الماء .

وتعتبر السلسلة التنفسية ( وتعرف أيضا بمجرى أو عمر انتقال الإلكترونات ) الجهاز الرئيسى لتحويل الطاقة فى الميتوكوندريا . وتشتمل المكونات الأساسية للسلسلة التنفسية على اثنين من إنزيمات الفلافين البروتينية ( succinic and DPN dehydrogenases ) ، ٤ أنواع من السيتوكروم وحديد لاهيمى ونحاس ، وإنزيم Q المرافق ( coenzyme Q ) ، ويتكون الأدينوزين ثلاثى الفوسفات ( ATP ) أثناء عمليات التحول فى السلسلة التنفسية من الأدينوزين ثنائى الفوسفات ( ADP ) ومجموعة الفوسفات ( أنظر فصل ٢٢ لمزيد من التفصيل ) .

#### مناطق الإنزيمات فى الميتوكوندريا

الأغشية Membranes

الموجد ( المادة الخلالية Matrix )

---

---

سلسلة الإنزيمات التنفسية

دورة كريبس :

respiratory chain enzymes:  
DPN dehydrogenase  
succinic dehydrogenase  
cytochrome oxidases  
isocitric dehydrogeore  
condensing enzymes  
pyruvic and ketoglutaric

Kreb's cycle :  
aconitase  
malic dehydrogenase  
fumarase  
isocitric dehydrogeore  
condensing enzymes  
pyruvic and ketoglutaric dehydrogenase  
fatty acid cycle  
crotonase  
acyl dehydrogenase

وعند تعريض معلق من الميتوكوندريا لاهتزازات صوتية ، فإن البروتينات الذائبة الموجودة داخل المادة الخلالية تنطلق من الميتوكوندريا تاركة الأغشية الميتوكوندرية فى الجزء المترسب .

وتمثل البروتينات الذائبة معظم الإنزيمات التى تشتمل عليها دورة كربس ودورة الأحماض الدهنية ، وتحتوى المادة الخلالية أيضا على نيوكليوتيدات مختلفة وكذلك على نيوكليوتيدات إنزيمات مرافقة والكتروليتات غير عضوية مثل البوتاسيوم  $K^+$  والفسفات  $HPO_4$  والمغنيزيوم  $Mg^{++}$  ، والكلوريد  $Cl^-$  ، ورباعى أكسيد الكبريت  $SO_4$  . ويحتوى الجزء غير الذائب على جميع إنزيمات السلسلة التنفسية بالإضافة إلى الإنزيمات المكملة ( المزوجة ) للفسفرة التأكسدية . ويرى بعض العلماء إن الغشاء الداخلى للميتوكوندريا والحواجز الميتوكوندرية تحتوى على غالبية - إن لم يكن جميع - إنزيمات هذه السلسلة . وتوجد إنزيمات الغشاء الداخلى للميتوكوندريا مرتبة فى تجمعات متماسكة وموزعة بانتظام ( على مسافات متساوية ) فى الحواجز الميتوكوندرية . وتوجد تجمعات الإنزيمات التنفسية فى مجموعات متساوية الجزئيات ، فعلى سبيل المثال يوجد فى السلسلة جزئ من انزيم نازع الهيدروجين السكسينى لكل جزئ سيتوكروم أو سيتوكروم مؤكسد .

**ويمكن تلخيص المهمات الوظيفية للميتوكوندريا فيما يلى :**

١ - تعتبر الميتوكوندريا المراكز التنفسية للخلية وذلك لاحتوائها على الإنزيمات التنفسية .

٢ - تحتوى الميتوكوندريا - حسب ملاحظة بعض الباحثين - على إنزيمات محللة وإنزيمات بناء (hydrolytic and synthesizing enzymes) فى الكائنات البدائية . وقد قام هورننج (Horning) بتوضيح ذلك فى الاميبا . ويعتقد هذا العالم أن الميتوكوندريا تستخدم فى الأوليات (protozon) لهضم المواد الغذائية . كذلك لوحظ فى الكائن البدائى أوبالينا (opalina) أن المواد الخضرية تتجمع على أسطح الميتوكوندريا ، وبعد فترة تنفصل حبيبات من هذه المواد وتنتشر فى السيتوبلازم . وقد اتضح أن هذه الحبيبات عبارة عن جسيمات بروتينية تم تخليقها من الغذاء الخضرى تحت تأثير الميتوكوندريا .



٣ - كذلك يرى البعض أن الميتوكوندريا مسئولة عن انتاج حبيبات الزيموجين (zymogen) فى خلايا البنكرياس . فاذا كان الأمر كذلك فإن هذا يعنى أن الميتوكوندريا تنتج إنزيمات تستخدم فى عملية الهضم خارج الخلايا ، وعلى ذلك يبدو أنها تقوم بوظائف متشابهة فى كل من الحيوانات البدائية والحيوانات الراقية .

٤ - ترتبط الميتوكوندريا بأبيض الدهون (fat metabolism) فى الخلية ( شكل ٤١ ) . ومنذ اكتشاف التمان (Altmann) للميتوكوندريا لوحظ وجود علاقة بين الميتوكوندريا والليبيدات ، فقد شوهد فى كل من خلايا الكبد والبنكرياس ، بعد فترة وجيزة من تجويع الحيوان ، أن الميتوكوندريا تصبح ، لصيقة بقطيرات الليبيد . ويوضح الميكروسكوب الالكترونى أن هناك عملية أبيض نشطة قد حدثت فى الدهون تحت تأثير الأحماض الدهنية المؤكسدة الموجودة فى الميتوكوندريا . والمعروف أنه بعد وقت قصير من تجويع الحيوان تنتقل عمليات الأيض فى الخلية من الكربوهيدرات الى الأحماض الدهنية التى يتم أكسدها بنشاط لكى يتيسر استعمالها فى المسار المألوف لدورة كريبس التى توجد فى الميتوكوندريا .

٥ - وتلعب الميتوكوندريا دورا هاما فى تكوين المح الزلالى (albuminous yolk) فى البويضات .

٦ - وتكون الميتوكوندريا غلاف الخيط المحورى ( sheath of the axial filament ) فى القطعة المتوسطة للحيوان المنوى .

منشأ ( أصل أو مصدر ) الميتوكوندريا : origin of mitochondria

لا يوجد حتى الآن اتفاق عام على نشأة الميتوكوندريا أو مصدرها ، غير أنه توجد ثلاثة مقترحات فى هذا الشأن :

## أول - انقسام الميتوكوندريا السابق وجودها :

Division of pre-existing mitochondria

يرى غالبية الباحثين ان الميتوكوندريا تنشأ من ميتوكوندريا موجودة فى الخلية نتيجة لعمليات مختلفة من التفرق والتكاثر . ويعضد هذا الرأى سلوك الميتوكوندريا أثناء انقسام الخلايا ونموها .

## الثانى - التخليق من جديد : De Novo Synthesis

ظهر هذا الرأى نتيجة لعمليات الطرد المركزى التى اجريت على بويضات قنفذ البحر حيث لوحظ أن الأجزاء التى تتجمع عند مركز الطرد لا تحتوى على ميتوكوندريا - حسب ما يتضح نتيجة استخدام الصبغات المميزة لها - وأن هذه الأجزاء يتكون بها بعد فترة من مراحل النمو مجموعة كاملة من الميتوكوندريا . وقد فسر ذلك على أن الميتوكوندريا نشأت من جديد . ولكن يمكن الرد على ذلك بأنه لا يمكن استبعاد وجود ميتوكوندريا صغيرة جدا ( لا ترى بالمجهر العادى ) فى الجزء الذى تم فحصه .

وتقدم الكيمياء الحيوية دليلا آخر هو أن متوسط عمر الميتوكوندريا يتراوح بين ٥ - ١٠٠ يوما ، مما يبين بوضوح أن تكوين الميتوكوندريا عملية مستمرة فى الخلية .

ويعتمد الرأى الثالث على الفحص بواسطة الميكروسكوب الالىكترونى حيث شوهد اتصال أغشية الميتوكوندريا بغشاء الخلية أو أغشية الشبكة الاندوبلازمية والغشاء النووى . وقد أدى هذا إلى الاعتقاد بأن الميتوكوندريا قد تتكون من هذه الأغشية .

## التغيرات المرضية (Pathological changes) :

تحدث فى الميتوكوندريا تغيرات مرضية يمكن توضيحها بالأمثلة التالية :

- ١ - فى الخلايا السرطانية ، تحدث فى الميتوكوندريا تغيرات دهنية ، فهى عادة تنتفخ وتفقد معظم اعرافها (internal ridges) ثم تتحول إلى قطيرة دهنية .
- ٢ - كذلك يوجد ما يشير الى ان الميتوكوندريا فى الخلايا السرطانية تستجيب سريعا للإشعاعات فوق البنفسجية .

٣ - اثناء الإصابة بالاسقربوط (scurvy) تتجمع الميتوكوندريا الخيطية حول النواة على هيئة كتلة كثيفة ، وذلك بدلا من توزيعها المتجانس فى السيتوبلازم . ثم تتهدم هذه الخيوط الى حبيبات صغيرة تصبح بعد ذلك حوصلية الشكل ، وتختفى بعد ذلك تدريجيا مع تقدم الإصابة .



(شكل ٤١)

تحول الميتوكوندريا إلى قطرات دهنية فى بعض الحالات الفسيولوجية والمرضية

٤ - تؤثر المبيدات الحشرية على الميتوكوندريا فى الخلايا العصبية تأثيرات ضارة ( الاشكال ٤٢ - ٤٣ ) ، فتتجمع الميتوكوندريا مع بعضها مكونة عددا قليلا من الأجسام كبيرة الحجم . وتتحرك تلك الأجسام تدريجيا نحو حافة الخلية حيث يختفى معظمها فى النهاية .



- ٥ - فى حالة التسمم بالمورفين تتكسر الميتوكوندريا العضرية فى الخلايا العصبية إلى حبيبات صغيرة ، ونقل قابليتها للصبغة بشكل ملحوظ ( شكل ٤٤ ) .
- ٦ - كذلك وجد أن التسمم بواسطة السلفونال يؤدي إلى أن تصبح الميتوكوندريا فى الخلايا الكبدية حبيبية الشكل ، ثم تهاجر بعد ذلك إلى حافة الخلية .
- ٧ - فى حالة التسمم بالفسفور ، تتكسر الميتوكوندريا الخيطية فى خلايا البنكرياس إلى حبيبات صغيرة تندمج مع بعضها مكونة قطرات دهنية .
- ٨ - تتأثر حركة الميتوكوندريا بشكل واضح بالمواد المخدرة فتقل حركتها .
- ٩ - أثناء تصويم الحيوان ، أو فى مراحل الشيخوخة تتحول الميتوكوندريا الخيطية فى الخلايا الكبدية الى حبيبات صغيرة تختلفى بعد ذلك تدريجيا من الخلية . وفى الخلايا الكبدية المسنة تتحول بقايا الميتوكوندريا إلى جسيمات حمراء تتجمع عند أقطاب الخلايا المتجهة نحو الجيوب الكبدية .
- ١٠ - وبالمثل تتأثر الميتوكوندريا بمعاملة الخلايا بأنواع أخرى من العقاقير الطبية مثل عقاقير التخدير .



## الفصل الثامن

### جهاز جولجي THE GOLGI APPARATUS

فى عام ١٨٩٨ وصف كاميللو جولجي (Camillo Golgi) فى الخلايا العصبية لبعض الفقاريات تركيباً شبيكياً أطلق عليه فيما بعد جهاز جولجي (Golgi apparatus) . ومنذ ذلك الوقت أجرى العلماء الكثير من الدراسات على هذا التركيب حتى أمكن توضيحه فى جميع أنواع الخلايا على وجه التقريب .



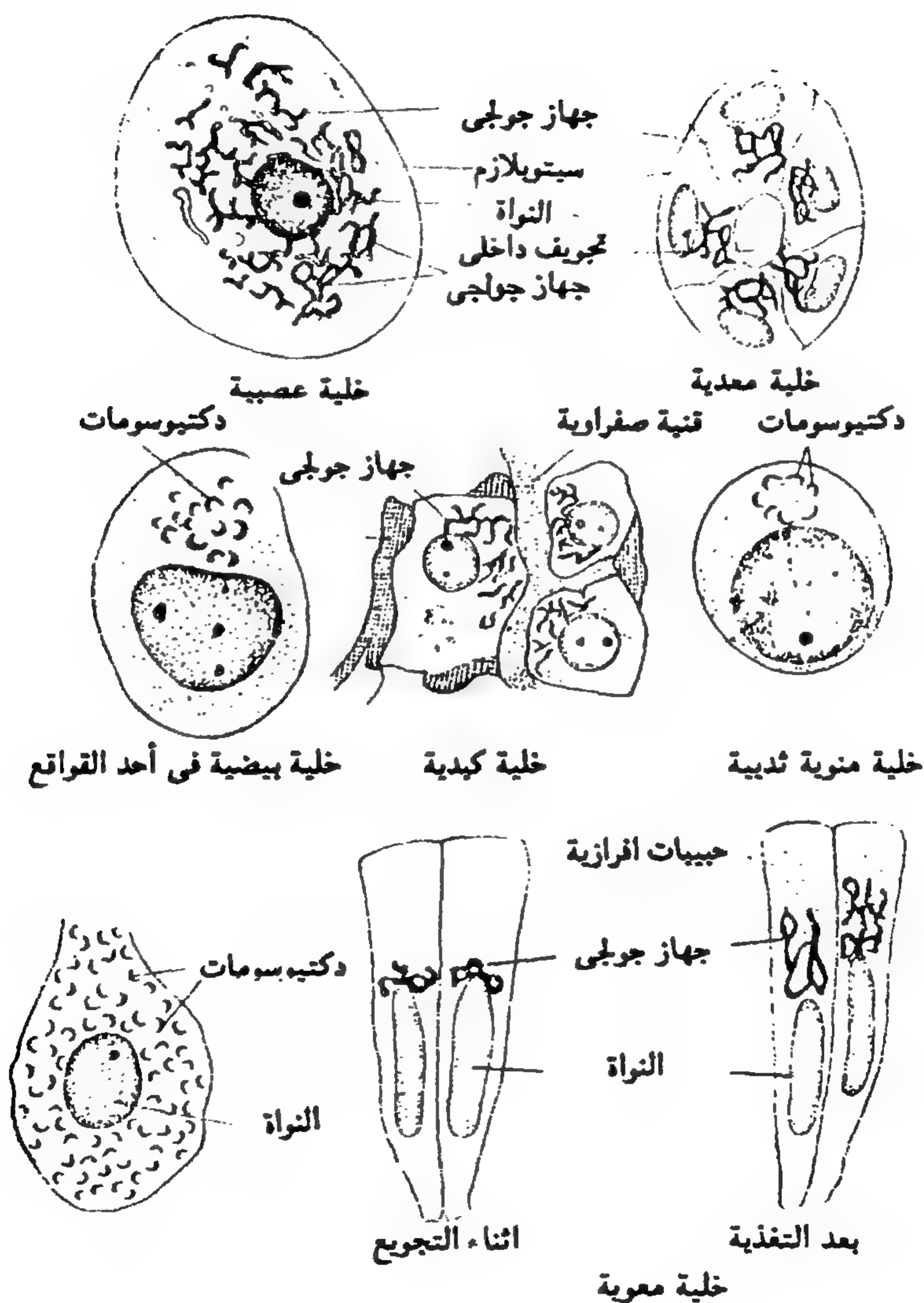
(شكل ٤٢)

جهاز جولجي فى الخلية (A) طلائية معوية ، (B) خلية عصبية .



**العربي (Structure):**

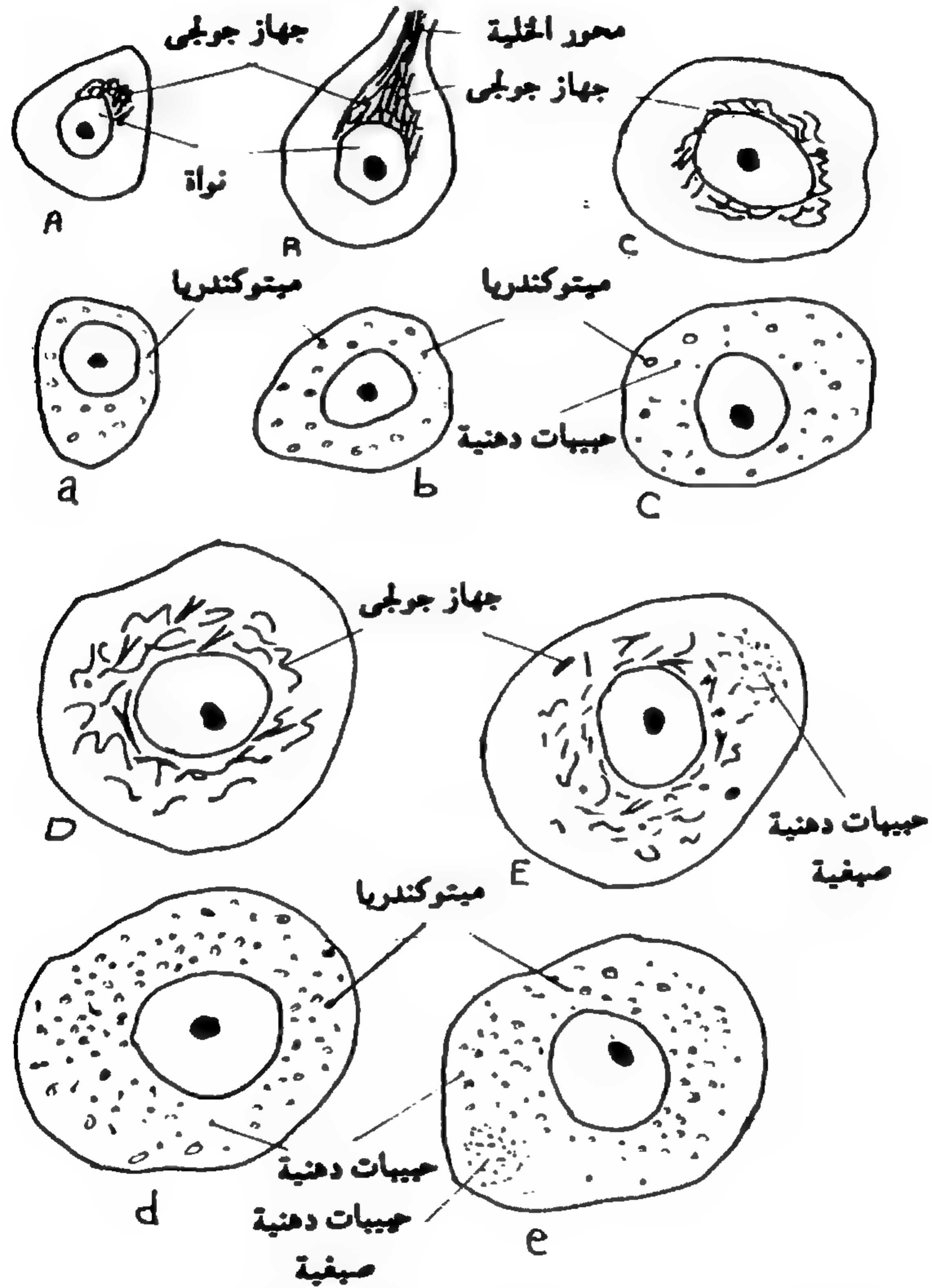
يوجد جهاز جولى فى جميع الخلايا الجسدية المتميزة فى الفقاريات ( كما توضحه الطرق التقنية الخاصة ) على هيئة تركيب شبكى فى السيتوبلازم . وقد وصف جاتينبى



(شکل ۴۲)

### انماط تواجد جهاز جولجي في أنواع مختلفة من الخلايا

وتهامى موسى (Gqtenby & Tohamy Moussa) هذا الجهاز فى عام ١٩٤٩ باستخدام ميكروسكوب التباين على أنه جهاز قنوى (Canalicular system) أى جهاز مكون من أنابيب وحوصلات يتخلل جدرانها ( مادة جهاز جولجى ) الفضة والأوزميوم . وقد تأكد ذلك فيما بعد بواسطة كثير من العلماء بما فيهم من استخدموا الميكروسكوب الالىكترونى .

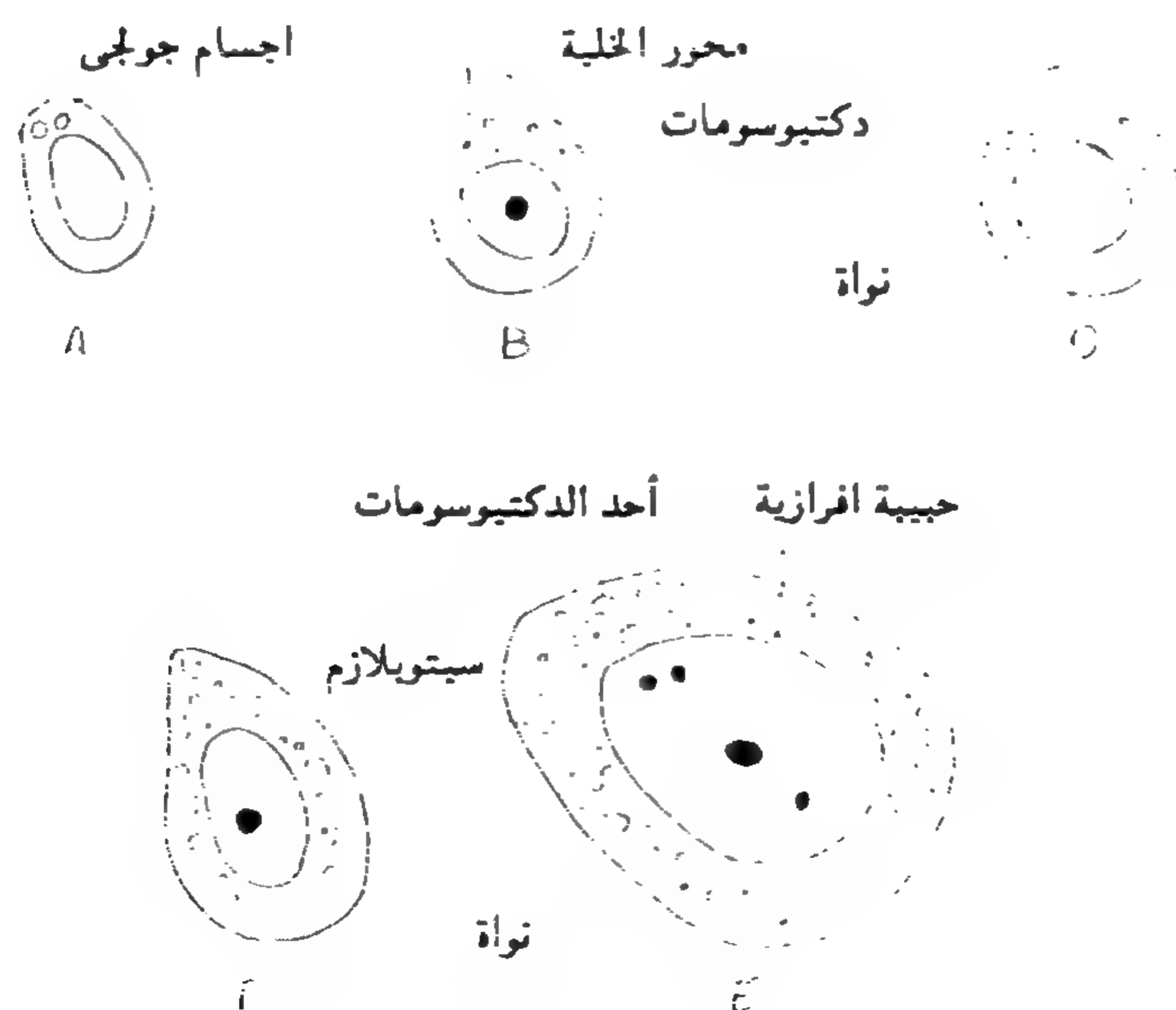


(شكل ٤٤) مراحل نمو جهاز جولجى فى الخلايا العصبية لأحد الفقاريات ، والميتوكوندريا والليبيدات .  
 (B-A) خلايا جنينية C خلية فى حيوان صغير  
 D خلية فى حيوان يافع E خلية فى حيوان مسن

ويوجد جهاز جولجى فى خلايا اللافقاريات وفى الخلايا الجرثومية ( الخلايا التناسلية ) للفقاريات على هيئة قضبان مقوسة أو حوصلات . ويطلق على النوع الأول الأهلة أو الديكتيوسومات (dictyosomes) ، كما اطلق عليها أيضا ليوكندريا أو جولجيوسومات ، ولكن ما زال الإسم المفضل هو الديكتيوسومات لأنه أسبقها فى الاستخدام وأكثرها دقة وتحديدا .

التركيب الدقيق (Ultrastructure) :

يتكون جهاز جولجى كما يرى بالميكروسكوب الالىكترونى (شكل ٤٦- ٤٧) من (أ) عدد من الأكياس الطويلة المفلطحة أو الصهاريج cisterna التى تمتد موازية لبعضها (ب) مجموعة من الفجوات الكبيرة vacuoles التى تقع عند حافة الأكياس الطويلة ، ويعتقد ان هذه الفجوات نشأت عن انتفاخات فى الأكياس الطويلة ، (ج) تجمعات من الحويصلات الصغيرة vesicles . وبعبارة أخرى ، فان الميكروسكوب الالىكترونى قد

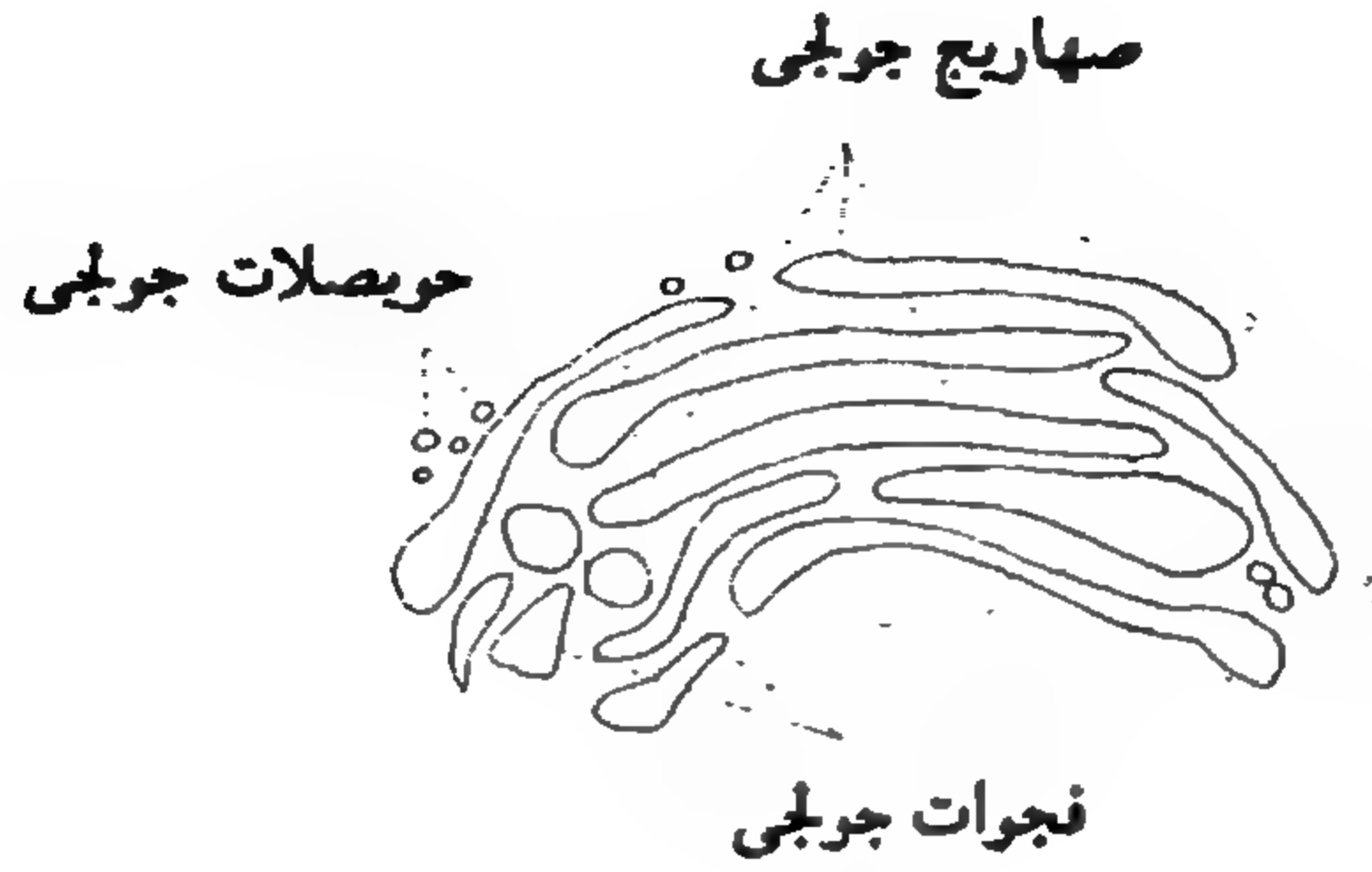


( شكل ٤٥ )

مراحل نمو جهاز جولجى ( الديكتيوسومات ) فى الخلايا العصبية لأحد القواقع



أوضح مجموعة من الأكياس أو الانابيب محاطة بأغشية رقيقة ومعها مجموعة من الحوصلات فى الأماكن التى كان يوصف فيها جهاز جولجى بواسطة علماء الخلية الذين استخدموا



(شكل ٤٦)

جهاز جولجى بالميكروسكوب الالىكترونى

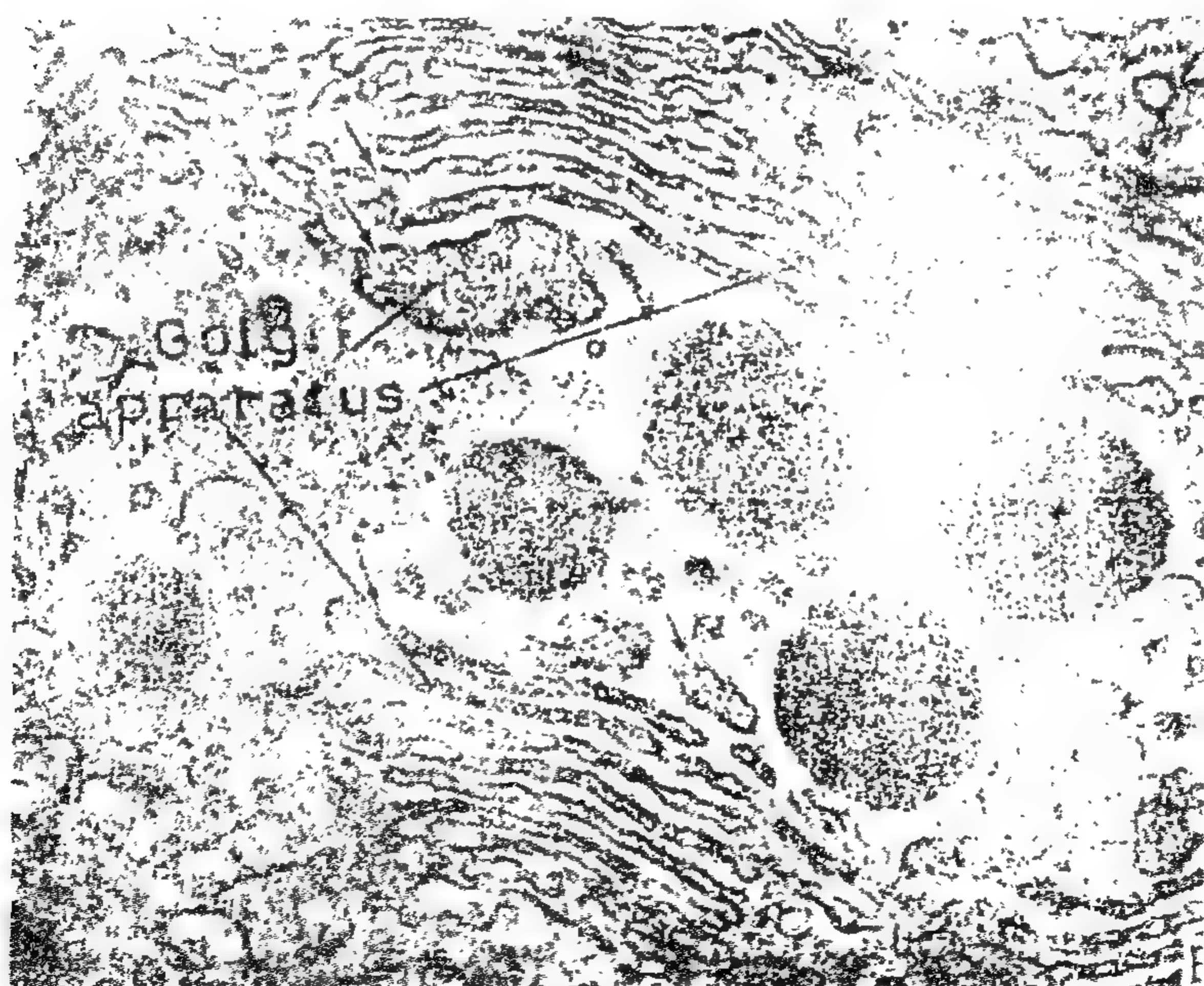
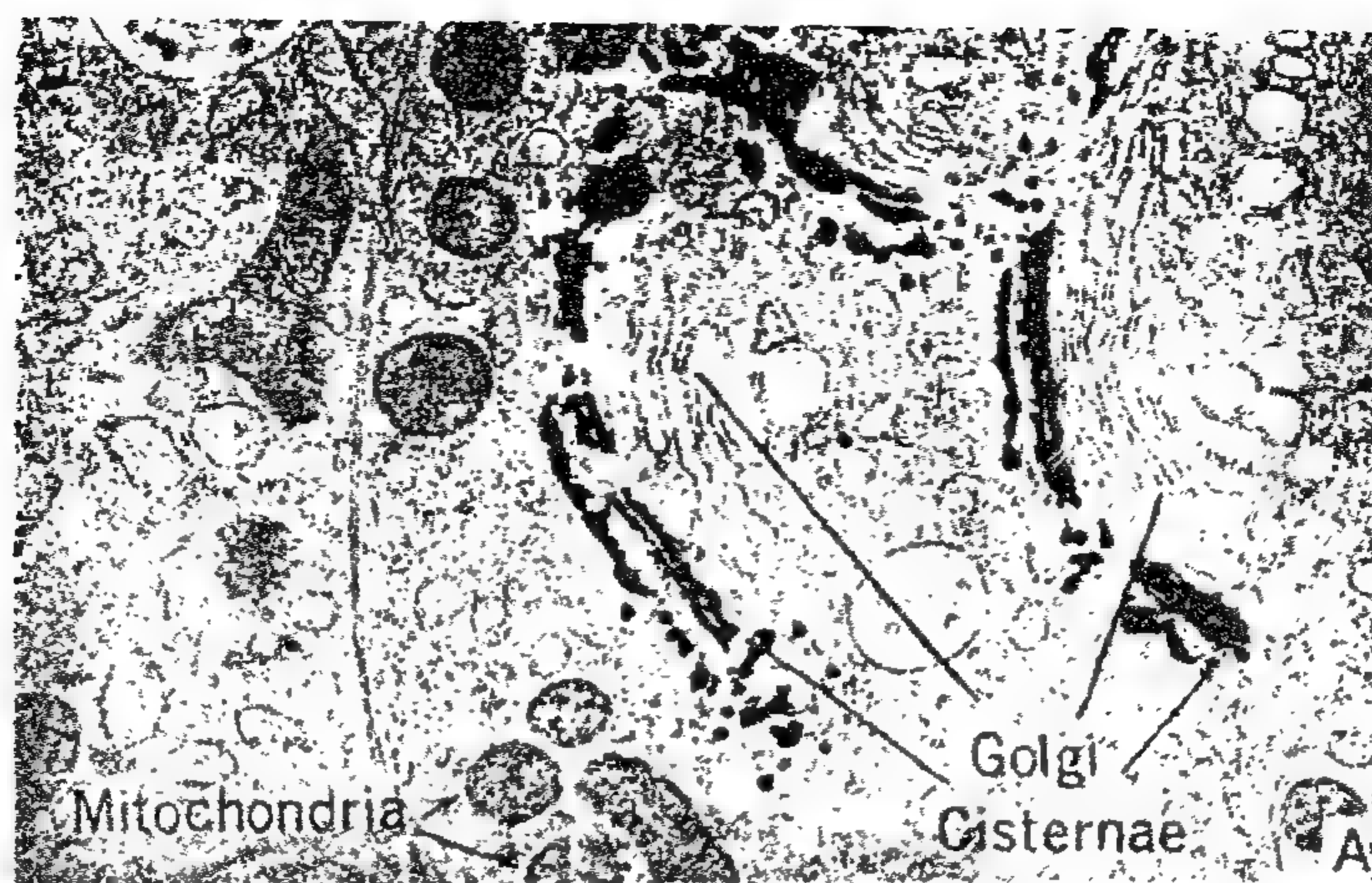
الميكروسكوب الضوئى . ولو نظرنا الى شكل جهاز جولجى كما يرى بالميكروسكوب الالىكترونى لوجدنا أنه يشبه تماما ما توصل إليه العلماء من قبل باستخدام ميكروسكوب التباين (شكلى ٥٢-٥٣) .

أما الديكتيوسومات فإنها تبدو بالميكرونسكوب الالىكترونى مكونة من أكياس طويلة مقوسة مع تجمعات من الحوصلات الصغيرة بجوار حوافها .

#### الشكل العام والحجم والتوزيع : Form, size and distribution

يختلف حجم (size) جهاز جولجى من خلية لأخرى ، فهو أكبر حجما وأكثر نشاطا فى الخلايا الإفرازية والعصبية والتناسلية ، وصغير الحجم نسبيا فى الخلايا التى لا تظهر نشاطا إفرازيا ملحوظا .

وبصورة عامة ، فان شكل (form) جهاز جولجى وحجمه مميّزان لكل نوع من أنواع الخلايا ، وإن كانا يختلفان فى الخلية الواحدة تبعا لنشاطها وكذلك تبعا لعمر الحيوان ؛ ففى الخلايا الطلائية لمعدة وأمعاء الأرنب الجائع ، يشاهد جهاز جولجى على هيئة تركيب متكاثف فى منطقة ضيقة من السيتوبلازم ، تقع بين النواة والحافة الحرة للخلية . وبعد أن يتغذى



(شكل ٤٧)  
صورة بالميكروسكوب الالكترونى لجهاز جولجى





(شكل ٤٨)

صورة بالميكروسكوب الإلكتروني لجهاز جولجي وبعض العضيات الأخرى

(GO) جهاز جولجي (ER)

(G) حبيبات زيموجين (M) ميتوكوندريا (R) ريبوزومات



الحيوان ، يكبر حجم جهاز جولجى (شكل ٥٣) وتظهر حبيبات الإفراز على اتصال وثيق بهذا الجهاز ( موسى وخطاب 1957 Moussa & Khattab ) وكذلك لاحظ المؤلفون ( ١٩٥٢ ، ١٩٥٥ ، ١٩٦٣ ، ١٩٧٠ ) ، تغيرات واضحة فى شكل جهاز جولجى وتركيبه الكيماوى مصاحبة لتقدم الحيوان فى العمر وذلك فى الثدييات والبرمائيات والطيور . وبصورة عامة فان ازدياد العم يتسبب فى تفتيب هذا التركيب الشبكي الى قضبان صغيرة ( شكل ٢٨ ز ، ح ) ، كما يتسبب فى تغيير تركيبه الكيماوى يؤثر على انشطته المختلفة فى خلايا الجسم .

وفى أثناء الإنقسام الميتوزى يتكسر جهاز جولجى إلى جسيمات صغيرة تتوزع بالتساوى فى انحاء السيتوبلازم ويؤدى الانقسام الى تقسيم هذه الجسيمات بين الخليتين الناتجتين بصورة تكاد تكون متساوية . وقد يختلف ترتيب جسيمات جولجى فى الخلايا أثناء مراحل الانقسام ولكنها فى جميع الحالات ، تتوزع بالتساوى تقريبا بين الخليتين الناتجتين من الخلية الأم .

ومكان وجود (position) جهاز جولجى ثابت تقريبا ويميز لكل نوع من أنواع الخلايا ، فقد يكون محيطا بالجسم المركزى كما فى الخلايا التناسلية ، أو منتشرا فى السيتوبلازم كما فى الخلايا العصبية للحيوانات اللافقارية — أو على شكل — ل — شب — كة محيطة بالنواة كما هو الحال فى الخلايا العصبية للفقاريات ، كما يقع بين النواة والقطب الإخراجى كما فى خلايا الغدد القنوية (مثل الخلايا الطلائية للأمعاء وطلائية البربخ فى الخصية ) . ولكن الأمر يختلف فى حالة الغدد الصماء فالقطبية متغيرة ما عدا الغدة الدرقية التى يكون فيها جهاز جولجى موجودا فى المنطقة المواجهة لمركز الحوصلات الغددية .

#### التركيب الكيماوى (Chemical composition)

يتركب جهاز جولجى من البروتينات والليبيدات ، وتكون الليبيدات بصورة مقنعة (masked lipids)، أى انها تكون متحدة بالبروتينات بطريقة لا تسمح لها بالظهور عند الكشف عن الليبيدات . ومن خلال سلسلة طويلة من البحوث التى أجرب على كثير من الخلايا الجسدية مثل الخلايا العصبية وخلايا المعدة والأمعاء والكبد والبنكرياس أوضح الباحثون ان جهاز جولجى لا يصبغ بالسودان الأسود ، وهى صبغة خاصة بالدهون ، وأن الجزء

البروتينى فى الخلايا العصبية يتكون من التيروسين (tyrosine) والجلوتامين (glutathione) . وبالإضافة إلى البروتينات فإن جهاز جولجى يشتمل على مواد عديدة التسكر فى الخلايا الطلائية للأمعاء .

وفى نفس الوقت تحتوى قنوات ( أو تجاويف ) جهاز جولجى على بيروفوسفاتيز الثيامين (thiamine pyrophosphatase) وجليكوسيل ترانسفيراز (glycosyl transferase) الذى يعمل على تحويل قليلات التسكر (oligosaccharides) الى بروتينات سكرية (glycoproteins) .

وفى بعض الأحيان يكون الجزء الدهنى غير مقنع (unmasked lipids) مثل حالة الخلايا التناسلية فى الرخويات والحلقيات ( جاتنبي وموسى ، ١٩٤٩ ) . بالإضافة إلى ذلك فقد وجد أن الليبيدات تتحول من مقنعة الى حرة أو غير مقنعة فى خلايا الحيوانات المسنة فى كل من الفقاريات واللافقاريات (موسى ، ١٩٥٠ ، ١٩٥٢ ؛ موسى وينهاوى ، ١٩٥٥) .

#### توضيح جهاز جولجى (Demonstration) :

يوضح جهاز جولجى فى الخلايا باستخدام طرق التخلل بالفضة لكل من أوياما (Aoyama) وكاجال (Cajal) ودافانو (Dafano) وكذلك بالأوزميوم حسب طريق كولاتشيف ناسونوف (Kolatschev - Nasonov) ومان كوش (Mann - Kopsch) ؛ كذلك يوضح جهاز جولجى باستخدام تيامين بيروفوسفيت وهى طريقة خاصة للصبغة تعتمد على وجود انزيمات فوسفاتيزية معينة فى تجاويف جهاز جولجى .

ولا يصبغ جهاز جولجى بالصبغات الدهنية فى الخلايا المثبتة أو الحية وهذه الصبغات تشتمل على الأحمر والمتعادل (neutral red) وأزرق الميثيلين (methylene blue) وصبغات السودان (Sudan dyes) .

ويمكن مشاهدة أجسام جولجى فى الخلايا الحية غير المصبوغة على صورة مقارنة تماما لصورتها كما تبدو فى التحضيرات المصبوغة وذلك باستخدام ميكروسكوب التباين .

ونتيجة لاستخدام القوة الطاردة المركزية العالية فإن جهاز جولجي يقع أسفل المحتويات الدهنية وفوق الميتوكوندريا ، أى أن جهاز جولجي أثقل من الدهون وأخف من الميتوكوندريا .

#### نمو جهاز جولجي : Development of Golgi apparatus.

##### أ - النمو فى الفقاريات : A- Development in vertebrates

لقد درس نمو جهاز جولجي فى الخلايا العصبية للثدييات Moussa and Moussa and El-Beih, 1970 والطيور (Moussied Khattab, 1963) فى الخلايا الحية والمثبتة وذلك باستخدام ميكروسكوب التباين .

يظهر جهاز جولجي فى المراحل الجنينية المبكرة على هيئة تركيب شبكى صغير مجاور للنواة عند القطب المحورى للخلية (شكل ٤٤ أ ، ب ) ، ثم يأخذ جهاز جولجي فى الانتشار التدريجى حول النواة حتى يحيط بها إحاطة كاملة ( شكل ٤٤ د ، هـ ، و ) . وفى الحيوان اليافع ينتشر جهاز جولجي فى سيتوبلازم الخلايا ولكنه لا يصل الى حافة الخلية ، بل يترك جزءا من السيتوبلازم خلوا من جهاز جولجي ( ولكنه يحتوى على الميتوكوندريا وأجسام نسل كما سنبين ذلك فى الابواب القادمة ) . وفى المراحل المسنة يتفتت جهاز جولجي الى قطع قصيرة وتستمر عملية التفتت الى أن يتحول الجهاز فى مراحل الشيخوخة إلى حبيبات وأجسام غير منتظمة الشكل (شكل ٤٤ c ) .

ويلاحظ أن الطبيعة القنوية ( احتواء جهاز جولجي على قناة داخلية ) أمر واضح تماما حتى فى المراحل الجنينية ، حيث تكون مادة جهاز جولجي التى تكون جدران هذه القنوات ذات ميل شديد للفضة والأوزميوم ولكنها لا تصبغ بصبغات السودان او الأحمر المتعادل . كذلك لا تصبغ القنوات ( الفجوات ) الداخلية بالفضة أو الأوزميوم ولكنها تحتوى على مادة سائلة ( سبق الإشارة الى تركيبها عند الحديث عن التركيب الكيماوى ) . ومن المرجح أن جهاز جولجي هو الذى قام بافراز هذه المادة .

##### ب - النمو فى اللافقاريات : Development in invertebrates

أمكن تتبع نمو جهاز جولجي فى مراحل تطورية متباينة فى الخلايا العصبية للرخويات (Moussa, 1950) والحشرات (Moussa & Bangauny, 1960) ومع انه قد لوحظ وجود



بعض الخلاقات بينهما فى التفاصيل إلا أن مراحل التطور فى نمو جهاز جولجى - كقاعدة عامه - متشابهة فى الحالتين .

فىوجد جهاز جولجى فى القمة المحورية للخلايا العصبية الصغيرة على هيئة عدد من القضبان الصغيرة المقوسة ( ديكتيوسومات ) والحوصلات (شكل ٤٥) . ويزداد عدد هذه الاجسام تدريجيا ، وتنتشر حول النواة حتى تحيط بها تماما ، ثم تبدأ فى الانتشار فى السيتوبلازم ، ويلاحظ أن عدد الديكتيوسومات اكثر بكثير من الأجسام الحوصيلة التى توجد عادة فى المراحل التكوينية المبكرة خاصة فى الرخويات . وفى البداية تكون الديكتيوسومات بعيدة ومستقلة عن بعضها ، ولكنها تأخذ فى التجمع فى المراحل اليافة على هيئة مجموعات تحيط كل مجموعة بمنطقة سيتوبلازمية ( لا تقبل الصباغة بصباغات الكروم ) تفرزها اجسام جولجى نفسها . وتتحول تلك المنطقة تدريجيا الى حبيبات تصبغ بالأوزميوم وسرعان ما تندمج تلك الحبيبات مع بعضها وفى النهاية تكون حبيبتين كبيرتين ثم حبيبة واحدة سرعان ما تطلق إلى سيتوبلازم الخلية . وتشمل هذه المرحلة الطور الإفرازى أو الطور النشط فى هذه الخلايا (active or secretory stage) .

وتبدأ الديكتيوسومات فى التباعد عن بعضها فى خلايا الحيوانات المتقدمة فى العمر ثم تنكسر الى حبيبات صغيرة وتمثل تلك المرحلة مرحلة التراجع (regressive stage) ( ، ويرى كل من موسى وبنهاوى (١٩٦٠) ، أن الخلايا العصبية تمر بثلاث مراحل أثناء حياتها : مرحلة مبكرة أو مرحلة غير افرازية (non-secretory stage) ثم مرحلة افراز نشطة واخيرا مرحلة تراجع .

#### وظائف جهاز جولجى : Functions of Golgi apparatus

أوضحت الدراسات التى أجريت بواسطة الميكروسكوب الضوئى وميكروسكوب التباين أن جهاز جولجى يرتبط ارتباطا وثيقا بتكوين افرازات خاصة (formation of specific secretions) فى أنواع مختلفة من الخلايا . وقد تم اثبات ذلك بالتقنيات الحديثة وباستخدام الميكروسكوب الالكترونى . وتوضح الأمثلة التالية دور جهاز جولجى فى هذا المجال :

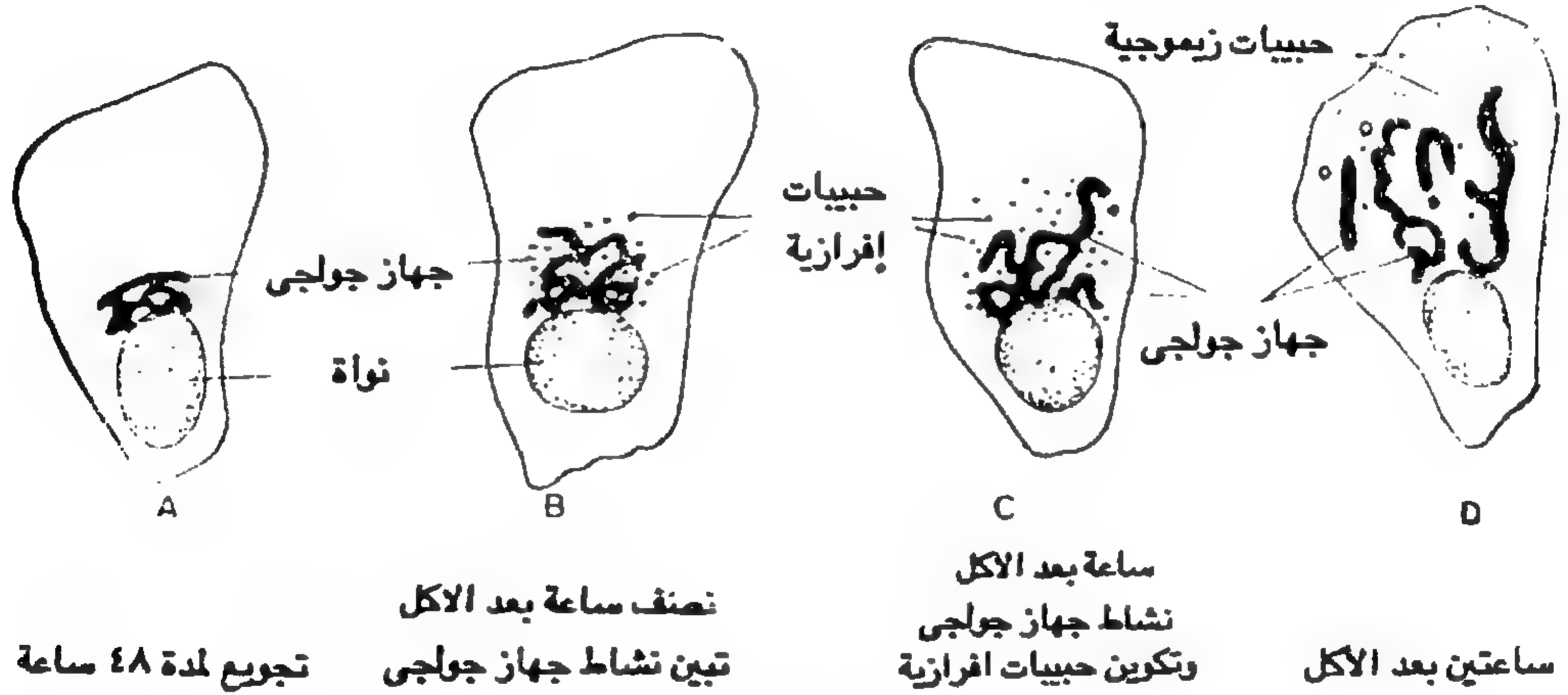
أ - يعتبر قيام جهاز جولجي بتكوين الجسم القمى (acrosome) فى الحيوان المنوى (شكل ٥٦.٥٥) مثلاً واضحاً لدور هذا الجهاز فى العمليات الإفرازية . وقد وضحت تلك الحقيقة عن طريق الدراسات الكثيرة التى استخدم فيها الميكروسكوب الضوئى ، ثم تأكدت بعد ذلك بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني (Burgos and Fawcett, 1955) .

ويوجد جهاز جولجي فى الخلية المنوية الصغيرة محيطاً بالكرة المركزية (centrosphere) ومع نمو الخلية تتكون فجوات صغيرة (فراغات vacules) عن طريق توسعات فى أنابيب (أو أكياس) جهاز جولجي . وتحتوى كل فجوة على حبيبة صغيرة يقوم جهاز جولجي بإفرازها . وتتحد الحبيبات المختلفة مع بعضها مكونة حبيبتين أو ثلاث حبيبات ثم تندمج فى النهاية مع بعضها مكونة جسماً صغيراً يسمى بالجسم القمى البدائى (أو ما قبل الجسم القمى proacrosome) وهذا الجسم محاط بتجويف صغير . ثم يصبح هذا الجسم ملاصقاً للقطب الأمامى للنواة ويسمى عندئذ بالجسم القمى (acrosome) .. وتستطيل الخلية المنوية ويصبح الجسم القمى المخروطى الشكل مفلطحاً على الجزء الأمامى للنواة . ويأخذ شكله النهائى . وفى نفس الوقت تكون فجوة الجسم القمى القلنسوة الرأسية للخلية المنوية ، ويهاجر جهاز جولجي إلى القطب المكسب للنواة .

ب- أوضحت الدراسات التى أجراها كثير من العلماء (Bowen, Cajal, Nasonov, Moussa, Banhawy, Khattab) ارتباط جهاز جولجي بتكوين الإفرازات فى أنواع مختلفة من الغدد خارجية الإفراز (مثل إفراز البسيتين بواسطة الخلايا البسيتية فى المعدة ، والصفراء فى الخلايا الكبدية ، وحبيبات زيموجين فى الخلايا البنكرياسية) . وقد لوحظ فى إحدى الدراسات المتعلقة بذلك أن جهاز جولجي فى الخلايا البسيتية لمعدة الأرنب الذى تم تجويعه لمدة ٤٨ ساعة يظهر على هيئة جسم كثيف متماسك يقع بالقرب من قطب النواة المواجه لتجويف الأمعاء . وفى الحيوانات التى أطعمت ثم فحصت خلاياها بعد نصف ساعة من تعاطى الطعام وجد أن جهاز جولجي قد بدأ فى الانتشار ثم ظهرت بين ثناياه حبيبات مفضضة (أى مصبوغة بمعدن الفضة) كما هو موضح فى (شكل ٥٦ ب) . ومعظم هذه الحبيبات وثيقة الصلة بجهاز جولجي . وينتشر جهاز جولجي بصورة أكثر فى خلايا الحيوانات التى تم فحصها بعد ساعة من تناول طعامها ، حيث شوهدت وفرة فى الحبيبات الإفرازية وبعد ساعتين من تناول الطعام ، يظهر جهاز جولجي منتشراً بشكل كبير

ويحتل معظم القطب الإفرازي للخلية ؛ وفي هذه الخلية تتحول الحبيبات الإفرازية المفضضة الى أجسام كروية لا تقبل الصباغة بالفضة ، ثم تندمج مع بعضها مكونة أجساما أكبر حجما تحتل قطب الخلية المقابل لتجويف القناة الهضمية . وتعتبر تلك الحبيبات التي ظهرت بعد تناول الطعام حبيبات ما قبل الزيموجين (بروزيموجين prozymogen ) أو ما قبل الببسين وهي المادة الحاملة للببسين ( پروببسينوجين propepsinogen ) وهذه تتحول الى كريات زيموجين ناضجة ( ببسينوجين pepsinogen ) بواسطة جهاز جولجي ( موسى وخطاب . ١٩٥٧ ) .

ج - يعتبر جهاز جولجي مركز تكوين المواد المخاطية في الخلايا الخاصة بذلك (Cajal, 1914) وقد تأكد ذلك حديثا باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني ، ثم بالدراسة السيتوكيميائية ( موسى خطاب ، ١٩٨٢ ) .

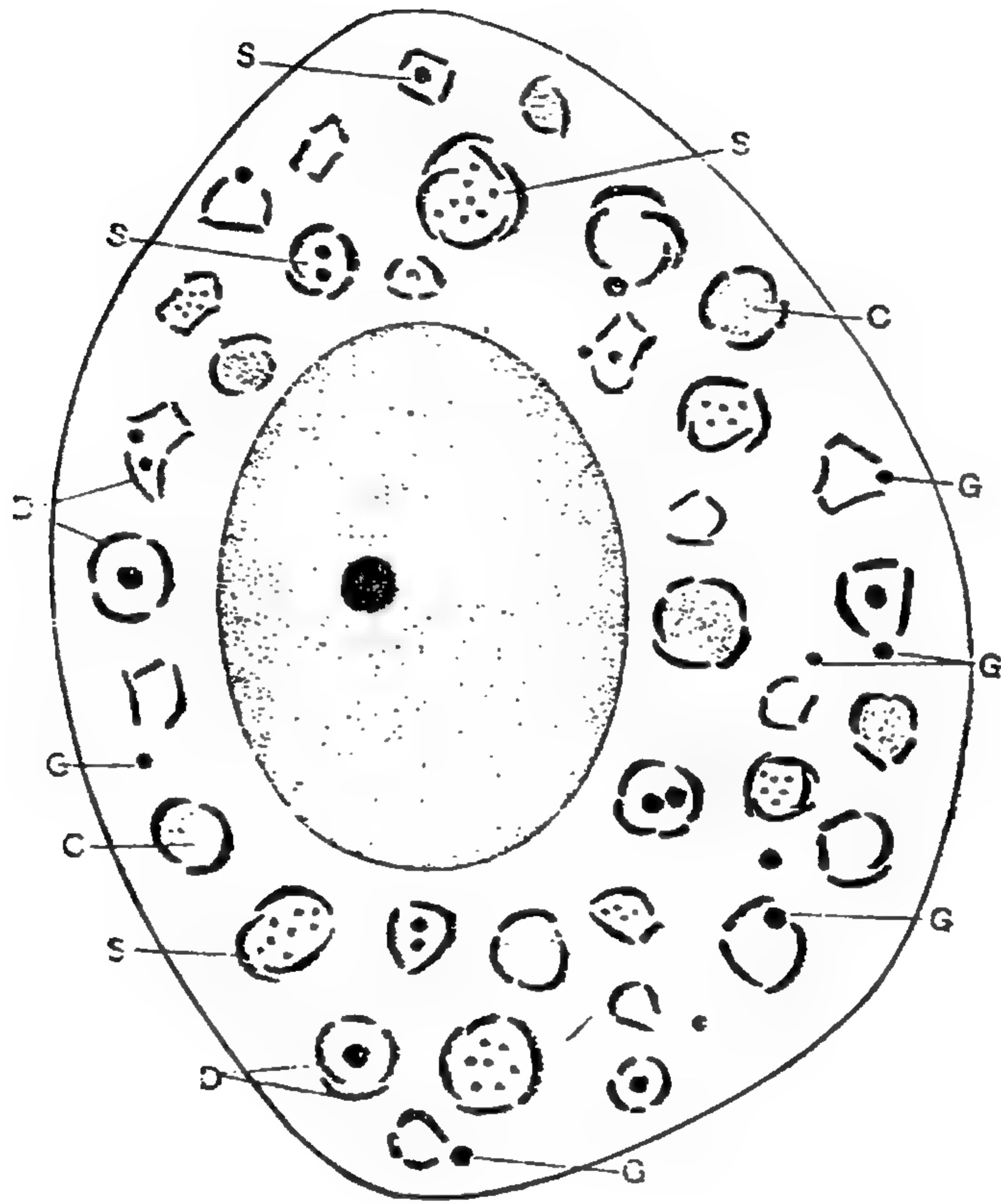


(شكل ٤٩) التغيرات الوظيفية لجهاز جولجي في خلايا معدية

د - يلاحظ في المنطقة التي يحتلها جهاز جولجي في الخلايا الطلائية والخلايا العصبية وغيرها نشاط واضح لانزيم الفسفاتيز الحمضي والقلوي مما يشير الى وجود علاقة قوية بين جهاز جولجي وهذين الانزيمين وقد تم تأييد ذلك عندما عزلت أجسام جولجي بواسطة القوة الطاردة المركزية . ويرجع الفضل للميكروسكوب الإلكتروني في اثبات أن الليسوسومات الأولية ( أماكن نشاط إنزيم الفسفاتيز الحمضي ) تتكون في جهاز جولجي (Novikoff, 1964) ومن الواضح أن جهاز جولجي به نشاط لانزيم الفسفاتيز الحمضي كما أكد ذلك Wetzel ومعاونوه عام ١٩٦٧ .



هـ - يعتقد جاتنبي وموسى أن الحبيبات الملونة التي تظهر فى سن الشيخوخة (Senility pigment) والحبيبات الدهنية (lipid granules) فى الخلايا العصبية



(شكل ٥٠)

خلية عصبية فى الجراد تبين نشاط جهاز جولجى فى تكوين الافرازات العصبية  
(G) منطقة افرازية داخلية (S) حبيبات افرازية (D) دكتيوسومات

للثدييات تفرز بواسطة جهاز جولجي . بالإضافة الى ذلك فإنه قد سبق أن أثبت موسى في عام ١٩٥٠ ان الدهون الملونة (lipochrome granules) في الخلايا العصبية للرخويات يتم إفرازها بواسطة أجسام جولجي (الدكتيوسومات) . وقد أكد ذلك فيما بعد كل من موسى وبنهاوى (١٩٦٠) وبنهاوى وأنور (١٩٧٠) الذين أوضحوا مراحل تكوين الإفرازات العصبية (neurosecretion) في الحشرات ، ويمثل الطور الخامس في حشرة الجراد مرحلة النشاط الإفرازى التى تتجمع فيها الدكتيوسومات فى مجموعات تحيط كل منها بمنطقة تفرزها الدكتيوسومات ذاتها . وتتحول هذه المنطقة الى حبيبات صغيرة ، ثم تندمج هذه الحبيبات مع بعضها تحت تأثير الدكتيوسومات مكونة فى النهاية حبيبة كبيرة تنطلق إلى السيتوبلازم بعد ذلك .

و - توضح دراسات موسى و بورن (Bourne) أن تكوين فيتامين ج فى الخلايا يرتبط بجهاز جولجي . وقد أوضح موسى ان جهاز جولجي فى الخلايا العصبية السمبثاوية للثدييات يعمل على إفراز أو تركيز فيتامين ج ، بينما اشار بورن الى أن جهاز جولجي يقوم بعزل أو فصل فيتامين ج فى خلايا الانابيب الكلوية .

ز - أعلن كرامر ولادفورد (Cramer and ludford) عام ١٩٢٥ أن جهاز جولجي فى الخلايا المعوية يختص بتخليق الدهون (synthesis of fat) من الأحماض الدهنية والجليسرين .

ح - ومن المعتقد أن جهاز جولجي يرتبط بإفراز السائل الزلالى (fluid synovial) فى المفاصل وذلك بواسطة الغشاء الزلالى للمفاصل ، وتكوين مادة المينا فى الأسنان (enamel of teeth) وذلك بواسطة خلايا المينا والحبيبات الملونة أو الصبغية (pigment granules) فى قزحية العين ، وكذلك تكوين المح الدهنى (fatty yolk) فى البويضات .

ط - وقد أوضح موسى وبنهاوى فى عام ١٩٥٥ نتيجة لدراساتهما على التغيرات المورفولوجية والكيمائية لجهاز جولجي فى مراحل الشيخوخة فى الخلايا العصبية للبرمائيات أن هذا الجهاز يتفتت فى خلايا الحيوانات المتقدمة فى العمر الى قطع منفصلة تنتفخ فى أماكن معينة مكونة حوصلات صغيرة تكون مجاويرها متصلة بتجاويف أجسام جولجي فى البداية ولكنها تنفصل عنها بعد ذلك وتصبح هذه الحوصلات حرة فى سيتوبلازم الخلية ،

وتصبح قابلة لأن تصبغ بالصبغات الخاصة بالدهون . وهذه الحالة لم يسبق وصفها فى أى من الحيوانات ؛ وهى توصف لأول مرة فى البرمائيات ، وعلى ذلك يعتقد موسى وينهاوى ان هذه الحوصلات نتيجة تحول جهاز جولجى فى الخلايا العصبية للحيوانات البرمائية المتقدمة فى السن ، وأن الليبيدات الموجودة فى جهاز جولجى والتى كانت مقنعة ، أصبحت غيرمقنعة فى تلك الحوصلات .

ى - وحسب اعتقاد البعض ، فإن جهاز جولجى يعمل كغشاء تكاثف ( اتحاد جزئين أو أكثر من المادة لتكوين جزئ أكثر تعقيدا من انفصال الماء ) وذلك لتركيز النواتج السيتوبلازمية المنتشرة إلى حبيبات أو قطرات تترك الخلية فيما بعد . ومعنى ذلك أن جهاز جولجى يعمل على سحب الماء من المواد الإفرازية ( المفروزة ) اثناء نضجها ، وبذلك تتحول إلى حبيبات متماسكة . وقد تبنى Weiss فى عام ١٩٥٥ هذا الرأى ليشرح به ميكانيكية عزل أو فصل القطرات الدهنية فى الخلايا الطلائية للأثنى عشر .

ك - ويرتبط بوظيفة جهاز جولجى فى تركيز المواد الإفرازية التشابه بينه ( فى خلايا الحيوانات المتقدمة ) وبين التجويف المتقبض ( الذى يطرد الماء خارج الخلايا ) الموجود فى الأوليات وبعض الحيوانات البدائية (Gatenby, Dalton and Felix, 1955) .

ل - وقد أوضح استخدام النظائر المشعة والميكروسكوب الالىكترونى أن البروتينات يتم تخليقها بصورة مبدئية بواسطة الريبوزومات الموجودة على غشاء الشبكة الاندوبلازمية ، ثم تمر الإفرازات إلى الشبكة الاندوبلازمية ومنها إلى جهاز جولجى حيث يتم نضجها ثم تنطلق بعد ذلك إلى السيتوبلازم .

م - على أنه باستخدام نفس الطرق السابقة يتبين أن جهاز جولجى هو المكان الوحيد لتخليق المواد عديدة التسكر المعقدة (complex polysaccharides) هذا ولم يوجد أى اثر لهذه المواد لا فى الريبوسومات ولا فى الشبكة الاندوبلازمية (Young, 1973) . ومن المقترح أيضا أن السكريات البروتينية (glycoproteins) التى يقوم جهاز جولجى بتكوينها ثم تهاجر إلى سطح الخلية مكونة الغلاف الخلوى (cell coat) .

س - يقوم جهاز جولجى بدور هام فى تمييز الخلايا الجنينية وذلك لأن الجهاز يكون فى حالة نشاط اثناء تكوين الخلايا .



ويتضح بجلاء من كل ما سبق أن جهاز جولجي يختص بتكوين افرازات معينة (secretions) فى الأنواع المختلفة من الخلايا ، ولكن الدور الذى يقوم به بالتحديد قد فسر تفسيرات مختلفة . فيرى بعض علماء الخلية أن جهاز جولجي يقوم بتكوين ( أو بتخليق ) المواد الإفرازية (synthesis of secretory substances) بينما يرى البعض الآخر أن الجهاز نفسه يتحول الى نواتج افرازية (transformed into secretory products) .

ويعتقد فريق ثالث من العلماء أن جهاز جولجي لا يقوم بتكوين الإفرازات ولا يتحول إليها ولكنه يعمل كغشاء تكثيف وذلك لتركيز النواتج التى تم تكوينها فى مكان ما بالخلية الى قطرات أو حبيبات .



(شكل ٥١)

(GA) جهاز جولجي فى خلايا معوية لحیوان جائع

وفى رأينا أن جميع الآراء السابقة صحيحة ، ففى كثير من الحالات يقوم جهاز جولجي بتكوين المواد الإفرازية ( كما هو واضح من الأمثلة أ ، ب ، ج ، د ، هـ ، ح ) ، وفى قليل من الحالات يتحول الجهاز الى نواتج أخرى كما فى الخلايا العصبية للبرمائيات المسنة (ط) ، وفى حالات أخرى يعمل جهاز جولجي كغشاء تكثيف وذلك بتحويل المواد التى كونت بصفة مبدئية - فى أماكن أخرى فى السيتوبلازم - الى قطرات او حبيبات يمكن الانتفاع بها ( ي ، ل ، ولحد ما ك ) ، وبذلك فان حقيقة العلاقة بين جهاز جولجي والمواد الإفرازية ( أى الناتجة عنه ) تتوقف على نوع تلك المواد .

## التغيرات المرضية لجهاز جولجي :

### Patho logical changes of Golgi apparatus

جهاز جولجي جهاز حيوى يستجيب لأنواع الأنشطة الحيوية المختلفة وغيرها من مؤثرات ، فتؤثر الحالات الفسيولوجية والمرضية المختلفة على حجم الجهاز ووظيفته وتركيبه ومكان تواجده فى الخلية ، وقد تم وصف العديد من تلك التغيرات المورفولوجية وأحيانا الوظيفية والكيمائية بواسطة موسى وزملاؤه ( منذ عام ١٩٤٨ الى عام ١٩٨١ ) . كما هو موضح فيما بعد :

(١) يؤدى قطع العصب الوركى الى هجرة جهاز جولجي فى الخلايا العصبية المقابلة من مكانه الأصى حول النواة إلى حافة الخلية .

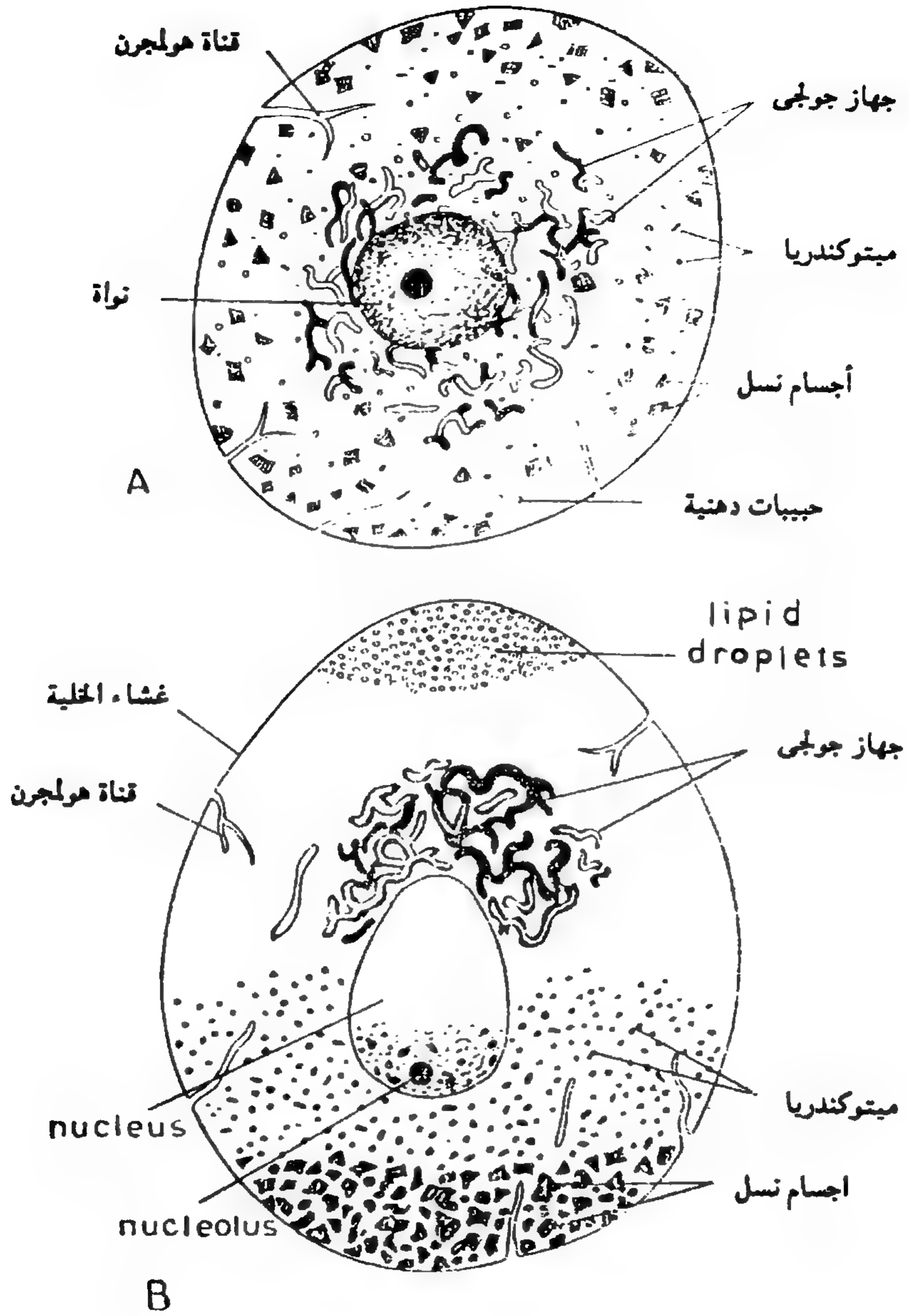
(٢) فى حالة الإصابة بفيروس نيوكاسل (Newcastle virus) تحدث انتفاخات فى جهاز جولجي وفى قليل من الخلايا تحدث تجمعات لأجسام جولجي فى المنطقة الخارجية للسيتوبلازم .

(٣) يتسبب نقص فيتامين ب المركب فى تفتت شبكة جهاز جولجي فى الخلايا العصبية للثدييات إلى جسيمات كروية وقطع صغيرة تتركز حول النواة . ويستمر تفتت أجسام جولجي إلى حبيبات دقيقة يصعب مشاهدتها ( ٦٠ ، ٦١ ) .

(٤) تحدث المبيدات الحشرية تغيرات بعيدة المدى فى مورفولوجية جهاز جولجي ( ٣٩-٤١ ) . وبصفة عامة تصبح أجسام جولجي فى الحشرات دقيقة ثم تختفى تدريجيا من الخلية فى المراحل المتقدمة من المعالجة بالمبيد ، كما تختفى الحبيبات الإفرازية التى تكون عادة مصاحبة لجهاز جولجي فى الخلايا السليمة العادية .

(٥) فى حالة التسمم بالمورفين تنتفخ شبكة جولجي وترتخى أجزاؤها ثم تنكسر الى قطع صغيرة ( شكل ٣٨ ) . وباستمرار تعاطى المورفين يستمر تفتت جهاز جولجي إلى أن يختفى تدريجيا من الخلية .

(٦) لوحظ أن الإثارة الكهربائية والإشعاع والبرودة والتسمم الفسفورى وغيرها من



(شكل ٥٢)  
 (A) خلية عصبية نموذجية (B) خلية عصبية بعد تعرضها للقوة الطاردة المركزية



العوامل تؤثر تأثيرات واضحة على مورفولوجية جهاز جولجي ونشاطه وتركيبه الكيماوى وسلوكه العام فى خلايا كل من اللافقاريات والفقاريات .

### المجاذلات المتعلقة بجهاز جولجي :

#### Golgi apparatus controversies

لم يحدث أن أثار أى تركيب فى الخلية من المناقشات والمجاذلات ما اثاره جهاز جولجي بين علماء الخلية ودارسيها . ويمكن القول بصورة عامة أنه توجد هناك مدرستان رئيسيتان فيما يتعلق بهذا الموضوع : المدرسة الاولى (Gqtenby, Beams, Moussa, etc) تعتقد أن جهاز جولجي موجود فى الخلايا الحية كتركيب حقيقى مستقل ، وأن هذا الجهاز قابل للصبغة بنترات الفضة (i.e., argentophil) أو حامض الأوزميك (i.e., osmiophil) بعد عمليات التثبيت المناسبة ، بينما تدعى المدرسة الثانية (Bensley, Parat, Baker, etc ..) أن جهاز جولجي الذى يظهر بعد استخدام نترات الفضة أو حامض الأوزميك لا يوجد هكذا فى الخلايا الحية ، ولكنه يظهر نتيجة اختزال نترات الفضة أو حامض الأوزميك وترسبها حول القطرات الدهنية ( أو بينها ) أو على الميتوكوندريا أو على اجسام نسل .

والواقع أن الغالبية العظمى من العلماء أصبحوا الآن يعضدون المدرسة الاولى يؤيدونها للأسباب الآتية:

#### ١ - الليبيدات - جهاز جولجي أو " نظرية التجاوير "

lipid - Golgi apparatus or "Vacuome hypothesis"

اعتنق هذه النظرية بعض العلماء ( Parat, Covell, Scott, Baker, Thomas, etc. ) وهؤلاء يرون أن حبيبات الليبيدات والتجاوير ( التى تصبغ بالاحمر المتعادل والسودان الأسود ) تمثل أساس التركيب غير الحقيقى الذى يظهر نتيجة اختزال نترات الفضة أو حامض الاوزميك وترسيبها ، وبذلك يظهر التركيب الشبكي ( جهاز جولجي ) الذى يشاهد فى خلايا الفقاريات . على ان هذا الرأى لم يلق قبولا لدى الكثيرين من العلماء للأسباب الآتية :

أ - تمكن موسى فى عام ١٩٥٢ من مشاهدة جهاز جولجي الشبكي فى الخلايا العصبية السمبثاوية الحية دون صبغة وذلك بواسطة ميكروسكوب التباين . وهذا التركيب يشبه فى

مورفولوجيته وموقعه وتوزيعه نفس جهاز جولجي الشبكي الذى يتم توضحيه باستخدام نترات الفضة أو حامض الأزميك .

ب - عندما صبغت الخلايا العصبية السمبثاوية صباغة حيوية بالأحمر المتعادل أو السودان الأسود بعد تثبيتها ، ثم فحصت بواسطة ميكروسكوب التباين ظهرت شبكة جولجي غير مصبوغة ( الصورة السلبية لجهاز جولجي ) ومحيطه بالنواة تاركة منطقة متسعة من السيتوبلازم لا توجد بها أجسام جولجي ولكنها تحتوى على حبيبات الليبيدات ( شكل ٥٩ ) . ومعنى ذلك أن حبيبات الليبيدات وجهاز جولجي يمكن توضيحها جنبا إلى جنب فى اخلية الواحدة ( موسى ، ١٩٥٢ ) .

ج - يظهر جهاز جولجي فى الخلايا العصبية الصغيرة على هيئة شبكة صغيرة فى المنطقة المحورية للخلية (٥٩) . وهذا التركيب يصبغ بنترات الفضة أو حامض الأزميك ولكن لا يصبغ بالصبغات التى تصبغ المواد الدهنية كصبغات السودان والاحمر المتعادل . ويلاحظ أن هذه الخلايا الصغيرة لا تظهر فيها أية حبيبات دهنية . وبعبارة أخرى فإن هذه الخلايا التى لا تحتوى على ليبيدات تحتوى على جهاز جولجي واضح المعالم ( موسى ، ١٩٥٢ ) .

د - أمكن فصل جهاز جولجي من الحبيبات الدهنية بواسطة جهاز القوة الطاردة المركزية العالية ( موسى ، ١٩٥٠ ، ١٩٥٢ ) . ومعنى ذلك أن الكثافة النوعية لجهاز جولجي تختلف عن الكثافة النوعية للدهون ومن الشكل رقم ٥٩ يتضح أن جهاز جولجي أثقل من الدهون .

هـ - سبق أن أوضح جاتنبي وموسى ( ١٩٤٩ ، ١٩٥٠ ) أن الحبيبات والمحوصلات الليبيدية التى سبق أن وصفها بيكر (Baker) وغيره ما هى إلا نواتج افرازية لجهاز جولجي خاصة فى الحيوانات اليافعة والمسننة ، وأن جهاز جولجي فى الخلايا العصبية للفقاريات جهاز قنوى تصبغ جذر قنواته ( مادة جولجي ) بالفضة أو الأزميم .

و - أوضح الميكروسكوب الالكتروني ( Beams, Dalton, Felix, etc... ) وجود جهاز جولجي على نفس الهيئة التى سبق لكل من جاتنبي وموسى أن وصفها قبل ذلك ، وعلى وجه العموم ، فلقد تمكن كثير من العلماء الذين درسوا أنواعا عديدة من الخلايا الحيوانية أن يثبتوا أن الحبيبات الدهنية وجهاز جولجي تركيبان مختلفان فى الخلية .

وبما هو جديد بالذكر أن بيكر (Baker, 1963) وهو زعيم المدرسة الانجليزية فى السيولوجى قد اعترف - بعد صراع مع المدرسة المصرية دام خمسة عشر عاما - بأن جهاز جولجى هو تركيب حقيقى موجود فى الخلايا الحية وأنه جهاز قنوى يمكن الكشف عنه بالطرق التكتيكية التى تستخدم فيها نترات الفضة أو حامض الازميك . ولم يعد بيكر وزملاؤه بعد هذا بنادون بأن جهاز جولجى غير حقيقى أو أنه مكون من حبيبات وقطرات دهنية .

## ٢- جهاز جولجى والميتوكوندريا : Golgi apparatus and mitochondria

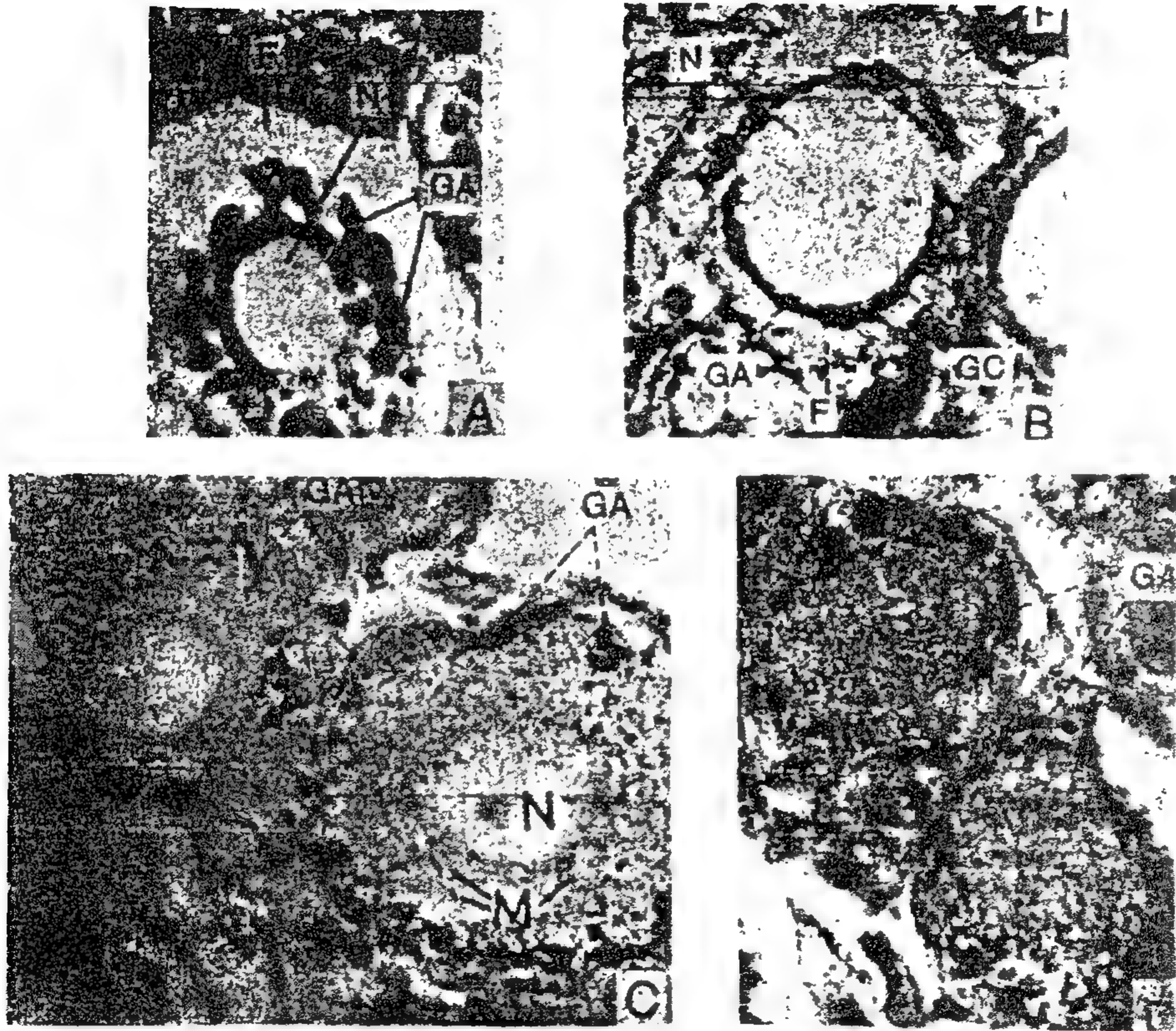
فى عام ١٩١٥ أعلنت مونتى (Monti) أن جهاز جولجى فى الخلايا العصبية للفقاريات واللافقاريات يشبه الميتوكوندريا من ناحية موقعه وكميته وتنظيمه ، ومن ثم استنتجت ان الميتوكوندريا فى الخلايا الحية تمثل جهاز جولجى . ولقد أسدلت ستائر النسيان على فرض مونتى لفترة تزيد على الثلاثين عاما ثم أخذت فى الظهور بعد ذلك على صور مختلفة . ففى عام ١٩٤٨ أعلن توماس أن جهاز جولجى المعروف كلاسيكيا فى الخلايا العصبية للثدييات يتكون من كل من القطرات الدهنية والميتوكوندريا الحيطية تحت تأثير التخلل بواسطة الازميوم . وقد تبنى كل من بيكر (١٩٤٩) وكوبرا (Chopra, 1960) رأى توماس فى ان الميتوكوندريا هى جهاز جولجى . غير أنه طبقا لآراء موسى ومعاونيه (١٩٤٨-١٩٨١) لا توجد أية علاقة بين الميتوكوندريا وجهاز جولجى فعلى الرغم من أن الميتوكوندريا توجد على هيئة حبيبات صغيرة وقضبان قصيرة منتشرة فى أنحاء السيتوبلازم فى الخلايا النامية ، إلا أن جهاز جولجى يظهر كتركيب شبكى قنوى يحتل المنطقة المحورية للخلية العصبية الجنينية . ويتقدم النمو بأخذ هذا التركيب الشبكى فى الالتفاف حول النواة ثم ينتشر فى السيتوبلازم تاركا حيزا قرب حافة الخلية خاليا من جهاز جولجى ، ولكن توجد به ميتوكوندريا .

كذلك تمكن موسى عام ١٩٥٢ من توضيح جهاز جولجى والميتوكوندريا جنبا إلى جنب فى الخلية الواحدة .

وبصورة عامة ، فإنه قد تم اثبات أن جهاز جولجى والميتوكوندريا تركيبان متباينان فى الخلايا وذلك بواسطة الميكروسكوب الالىكترونى (Beams et al ., 1952 etc..) وجهاز القوة الطاردة المركزية العالية (Brown, 1936 Moussa, 1950, 1952) وكذلك عن طريق قطع العصب الوركى ( موسى ، ١٩٥٦) . وقد وجد موسى أنه عند قطع العصب الوركى فإن جهاز



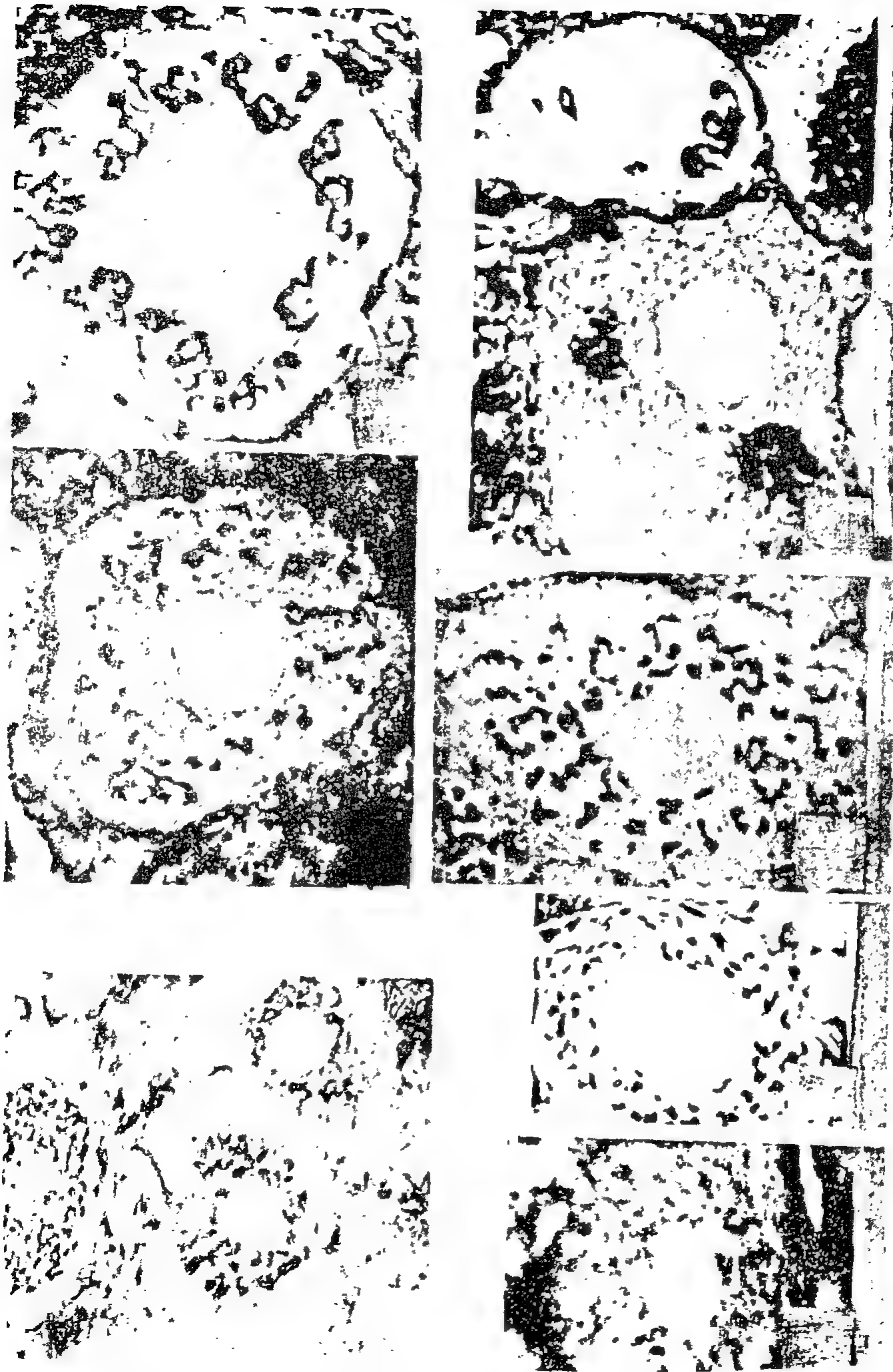
جولجى فى الخلايا العصبية التى قطعت معاورها يهاجر من حول النواة الى حافة الخلية تاركا منطقة سيتوبلازمية محيطة بالنواة خالية منه ولكنها ما تزال تحتوى على الميتوكوندريا ( شكل ٥٣ ) . بالإضافة إلى ما تقدم فإن التركيب الكيماوى لجهاز جولجى يختلف اختلافا بينا عن التركيب الكيماوى للميتوكوندريا .



(شكل ٥٣)

- (A) شبكة جولجى محيطة بالنواة فى خلية عصبية عادية ،  
 بها (N) نواة (GA) شبكة جولجى (B) نفس الحالة السابقة ، بها (N) نواة -  
 (GA) شبكة جولجى ، (GC) قناة اجسام جولجى (C) تحرك شبكة جولجى بعيدا عن حافة النواة  
 (M) ميتوكوندريا (D) تحرك أكثر وتحلل شبكة جولجى .





(شكل ٥٤) حالات مرضية مختلفة لجهاز جولي

### ٣ - جهاز جولجي واجسام نسل ( انظر الفصل العاشر ) Golgi apparatus and Nissl bodies

### ٤ - جهاز جولجي وقنوات هولجرين : Golgi apparatus and Holmgren canals

فى المراحل المبكرة لدراسة جهاز جولجي حدث خلط ادعاه Holmgren بأن هذا الجهاز مماثل لنسق من القنوات الصافية (تفتح على حافة الخلية) والذي أعلن أنه شاهده فى العديد من الخلايا وسماه " trophosphonium " وقد أضاف Cajal إلى هذا اللبس عندما تحدث عن شبكة جولجي فإنها قنوات جولجي - هولجرين .

تشير النتائج التى أمكن الحصول عليها باستخدام القوة الطاردة المركزية العالية تثبت أن قنوات هولجرين تختلف عن جهاز جولجي ( شكل ٥٢ ) . والواقع أن الرأى السائد الآن بين علماء الخلية أنه لا توجد أية علاقة بين هذين الجهازين .

### ادلة اخرى على حقيقة وجود جهاز جولجي :

(١) سلوك أجسام جولجي أثناء انقسام الخلية ووجودها فى سيتوبلازم البويضات المخصبة ، ثم توزيعها على الخلايا الناتجة يؤكد أنه جسم دائم التواجد .

(٢) يتوقف نمط التغير فى جهاز جولجي على المؤثر الحادث ، أى أن كل مؤثر يؤدي الى تغيرات مميزة له .

(٣) يوضح سلوك جهاز جولجي فى الخلايا الغدية أنه تركيب خلوى أى جهاز حى لا يمكن إنكار وجوده . فمتابعة ما يحدث فيه من تغيرات مصاحبة للأحوال الفسيولوجية لا تدع مجالاً للشك فى حقيقة وجود هذا التركيب .



11

• • •

—  
—  
—  
—

•

4

•

11

•

.

,

•

11

2

•

:

•

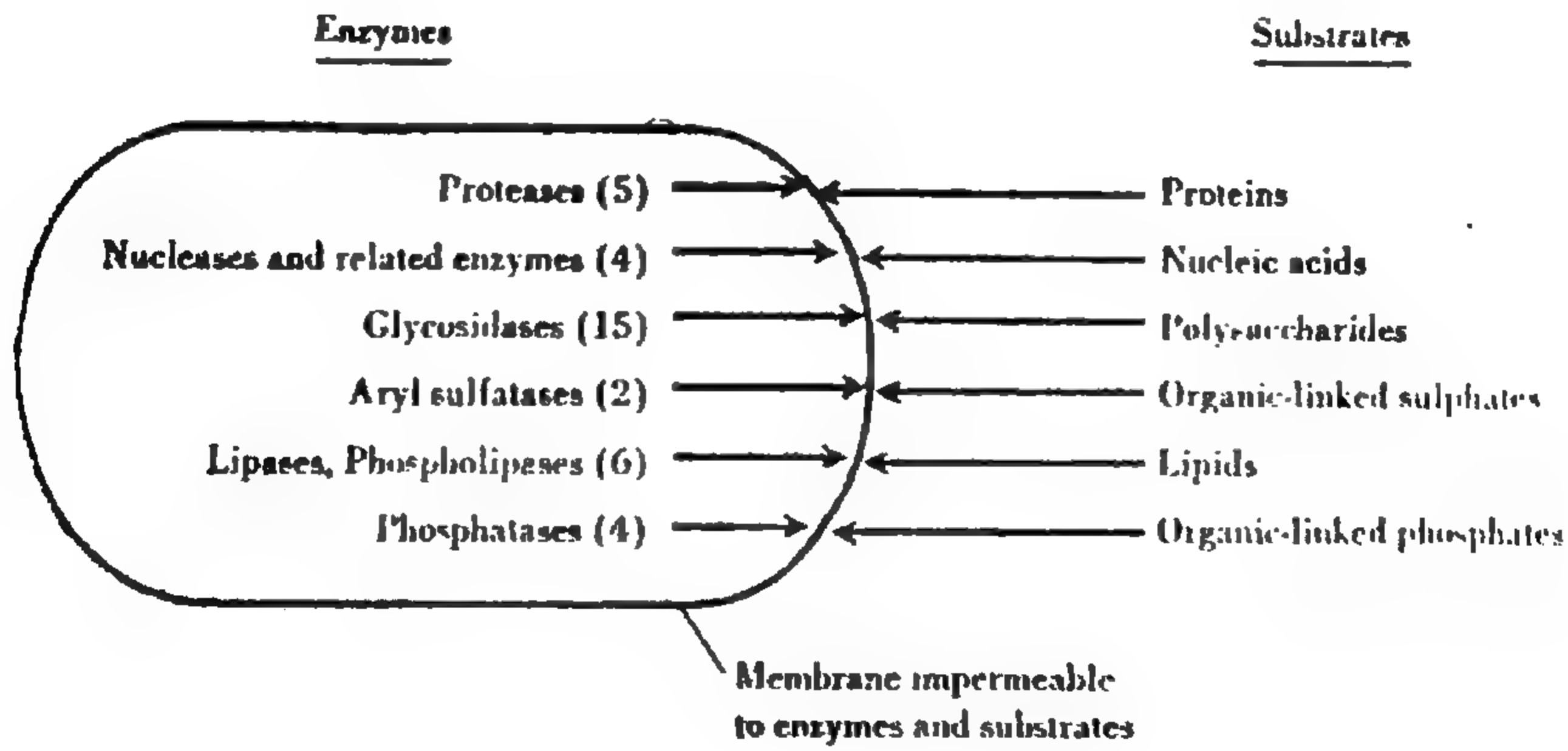
## الفصل التاسع

### الليزوسومات والبيروكسيسومات LYSOSOMES AND PEROXISOMES

#### الليزوسومات Lysosomes :

وصفت الليزوسومات لأول مرة فى عام ١٩٥٥ بواسطة دى ديوف de Duve وتلاميذه فى خلايا كبد الفأر وكان من المعتقد فى البداية انها تمثل الجسيمات التى كان يطلق عليها الميكروسومات ( Microsomes ) ولكن تبين أنها لا تحتوى على ر ن المميز لتلك الجسيمات . ثم تغير الرأى الى أنها نوع من الميتوكوندريا الصغيرة ولكن ثبت أيضا أنها ليست كذلك . وعلى ذلك تم إعتبارها أحد التراكيب السيتوبلازمية . وقد تم وصفها بعد ذلك فى معظم الخلايا الحيوانية بواسطة عدد كبير من الباحثين . وهناك من الشواهد ما يدل على وجود تراكيب تشبه الليزوسومات فى الخلايا النباتية .

وتبدو الليزوسومات بالمجهر الضوئى على هيئة حبيبات أو حويصلات صغيرة . وفى الفحص بالمجهر الالكترونى تبدو الليزوسومات كأكياس صغيرة محاطة بغشاء رقيق ذو تركيب دهنى - بروتينى .



(شكل ٥٥)  
الانزيمات داخل الليزوسومات

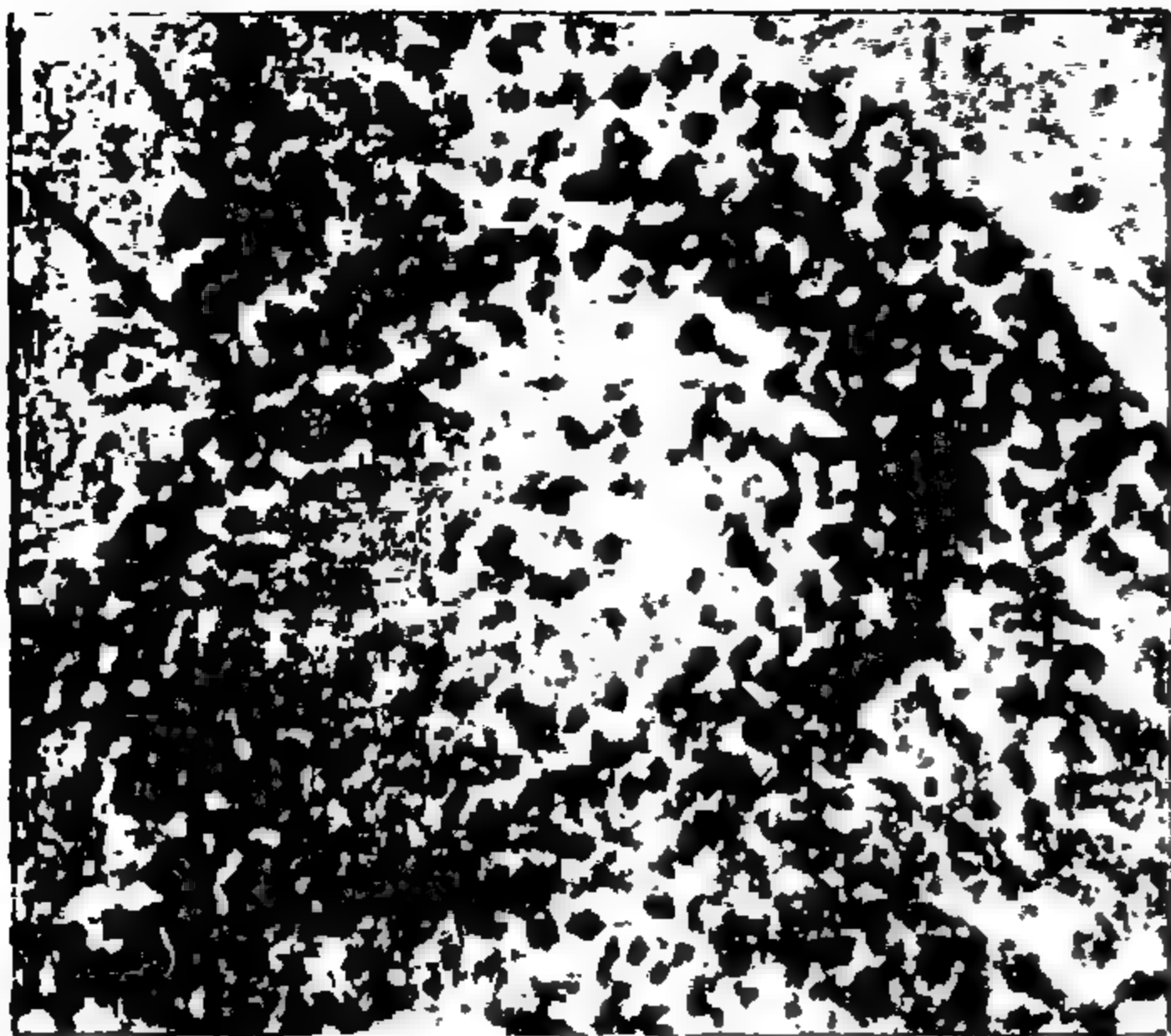
وتتميز الليزوسومات باحتوائها على إنزيمات تحلل مائى تعمل فى وسط حمضى مثل الفوسفاتيز الحمضى وريبونيوكليز ودى أوكسى ريبونيوكليز . وتعمل هذه الإنزيمات على هضم أو تحليل المواد الخلوية المختلفة مثل البروتينات والأحماض النووية والسكريات . ومن هنا يمكن تفهم معنى كلمة ليزوسومات على انها الأجسام التى تعمل على تحليل المواد . ومن المهم إدراك أنه اذا ما انفجر الغشاء الذى يحد الليزوسومة ، فإن الإنزيمات التى بداخلها تنطلق إلى السيتوبلازم مسببة هضم وتحلل التراكيب الخلوية الأخرى مما يؤدى إلى تحليل الخلية وموتها . ولهذا فان الليزوسومات تعرف بأنها أكياس الانتحار suicide bags حيث أنه من الممكن ان تميت الخلية نفسها بما تحتويه من إنزيمات قوية هاضمة أو محللة .

#### الكشف عن الليزوسومات : Detection of lysosomes

عادة ما يستخدم الكشف عن إنزيم الفوسفاتيز الحمضى فى اظهار الليزوسومات باستخدام المجهر الضوئى . ذلك أن هذا الإنزيم فضلا عن أنه من أهم انزيمات الليزوسومات - فإن الكشف عنه هستوكيماريا يعد أمرا ميسورا .

ولتحقيق ذلك الغرض ، تؤخذ قطاعات ثلجية من النسيج مثبتة فى فورمول - كالسيوم وتوضع فى محلول حاضن incubation medium يحتوى على تيترات الرصاص ومادة أساس للإنزيم substratum وهو فى هذه الحالة بيتا جلسروفوسفات الصوديوم ، على أن يضبط الأس الهيدروجينى للمحلول عند درجة ٥٠ ر.ه . (ph 5) ودرجة حرارته ٢٧ ° م . وبعد ذلك تغمس القطاعات لفترة وجيزة فى كبريتيد الأمونيوم الصفراء . وتظهر الليزوسومات (موقع نشاط إنزيم الفوسفاتيز الحمضى ) بعد هذه المعاملة على هيئة حويصلات صغيرة لونها بنى داكن . وحسب هذه الطريقة فإن الإنزيم الموجود فى خلايا النسيج يعمل على تحليل مادة الأساس فى المحلول وتتحلل بذلك أيونات الفوسفات التى تتحد مع أيونات الرصاص لتكون فوسفات الرصاص اللاذائبة . وتتحول هذه المادة المترسبة عديمة اللون الى كبريتيد الرصاص ذى اللون البنى الداكن وذلك بتفاعلها مع كبريتيد الأمونيوم الصفراء . ويراعى عمل قطاعات ضابطة وذلك بوضعها فى محلول حاضن يعوزه مادة أساس الإنزيم ( بيتا جلسروفوسفات الصوديوم ) ، وعلى ذلك فإن هذه القطاعات ستعطى نتيجة سالبة للتفاعل.

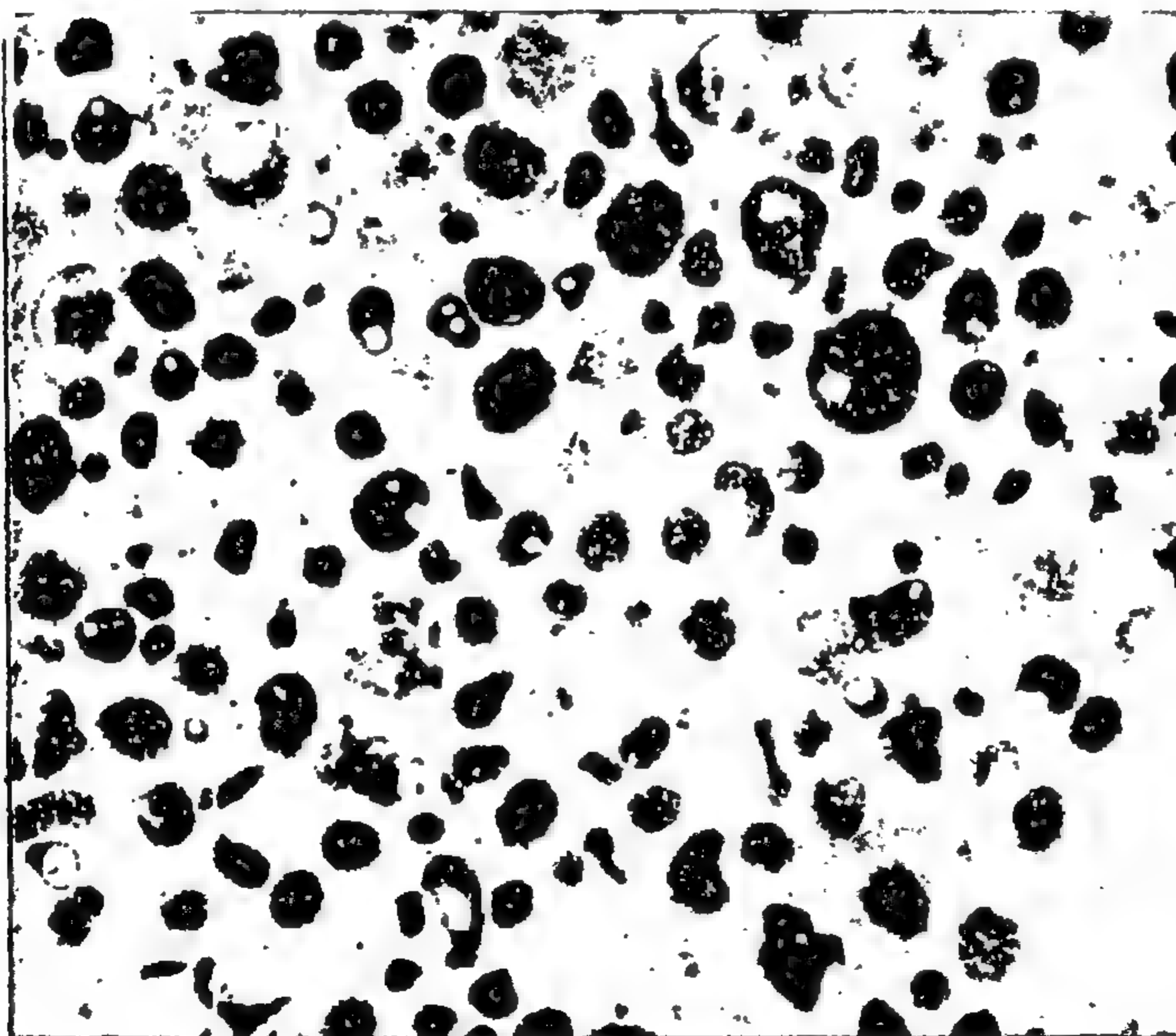




(شكل ٥٧)



(شكل ٥٦)



(شكل ٥٨)

- شكل ٦٣- الليسوزومات فى خلية عصبية حركية .
- شكل ٦٤- الليسوزومات فى خلية عصبية فى الحبل الشوكى .
- شكل ٦٥- صورة بالميكروسكوب الالىكترونى فى خلية كبدية .

## التوزيع والحجم Size and distribution :

لوحظ أن هناك علاقة وثيقة بين الليزوسومات وموقع جهاز جولجي في الخلية .. ومن أمثلة ذلك أنه في طلائية الأمعاء يقع معظم الليزوسومات في المناطق الغنية من الخلايا حيث يوجد جهاز جولجي ، كذلك الحال في الخلايا الكبدية حيث أن معظم الليزوسومات توجد في منطقة جهاز جولجي . وقد أوضحت الدراسات أن الليزوسومات الأولية إنما تنشأ جزئياً من جهاز جولجي ويوضح نشاط إنزيم الفوسفاتيز الحمضي في أكيسر جهاز جولجي .

يختلف حجم الليزوسومات حسب اعتبارات متعددة منها طبيعة نشاطها الوظيفي وأصلها وطراز الخلية . ففي الخلايا الكبدية نجد أن قطر الليزوسومة حوالي ٠.٥ ر ميكرون ، إلا أن هناك من الليزوسومات ما يصل قطره إلى عدة ميكرونات كما في كلية الثدييات . وقد قدر أن حويصلات جولجي تمثل أصغر الليزوسومات حيث يصل قطرها إلى ٢٥ - ٥٠ مللي ميكرون .

## طرز الليزوسومات Types of lysosomes

يمكن تمييز أربعة طرز من الليزوسومات :

### ١ - الليزوسومات الأولية أو الأصلية : The original or primary lysosomes

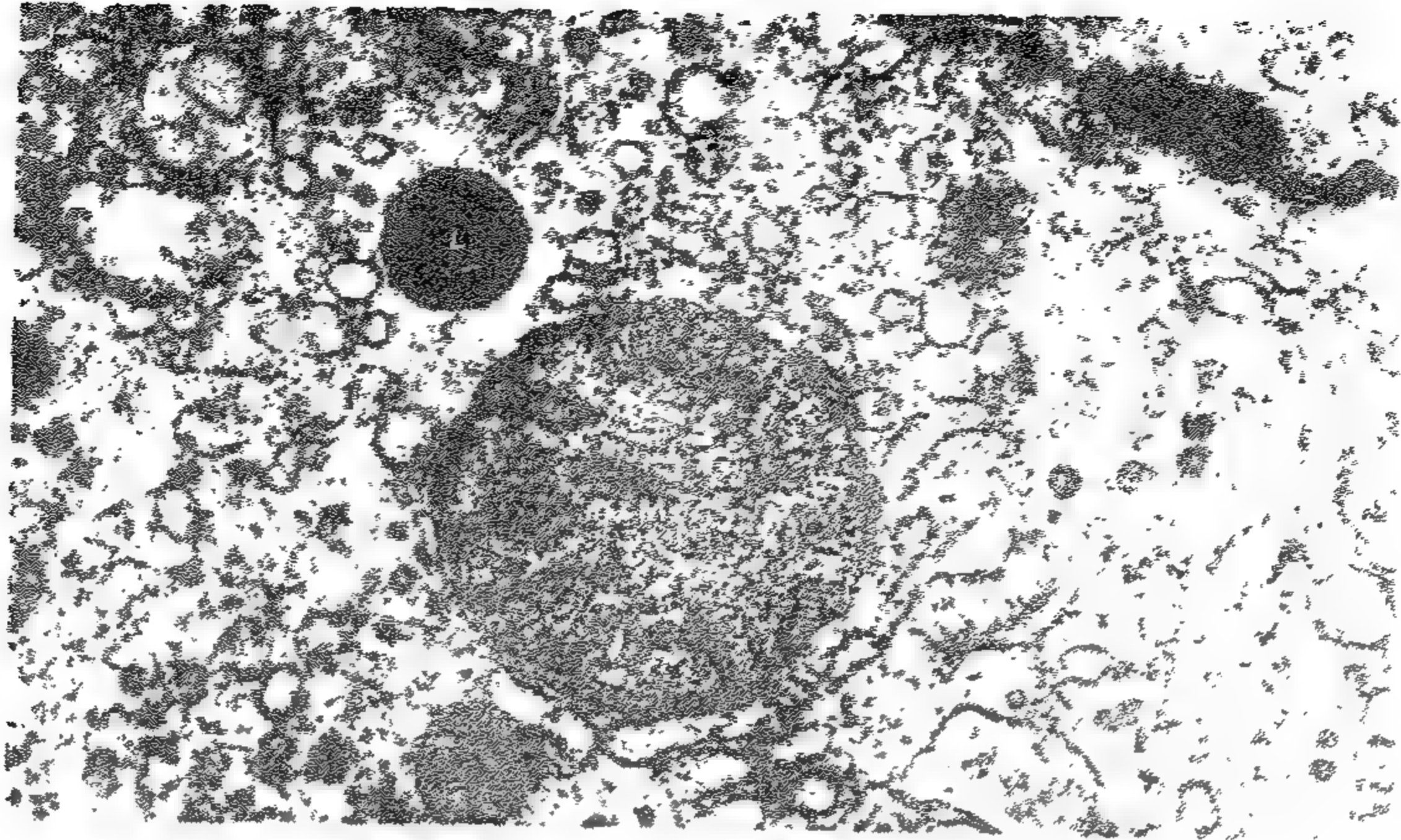
وتسمى أيضاً حبيبات الإختزان Storage granules . في البداية يخلق إنزيم الفوسفاتيز الحمضي بواسطة الريبوسومات ثم يتجمع في الشبكة الإندوبلازمية . وقد أوضحت الدراسات الهستوكيماوية أن هذا الإنزيم ينفذ إلى شبكة جهاز جولجي حيث يتجمع في حويصلات معينة ، وفي النهاية تنفصل هذه الحويصلات الغنية بإنزيم الفوسفاتيز الحمضي عن جهاز جولجي . وعلى ذلك فإنه يمكن القول أن الليزوسومات الأولية تنشأ جزئياً من جهاز جولجي .

### ٢ - الأجسام البلعية المخالفة أو الفجوات الهضمية ( أو الليزوسومات

الفانوية ) The heterophagosomes or digestive vacuoles

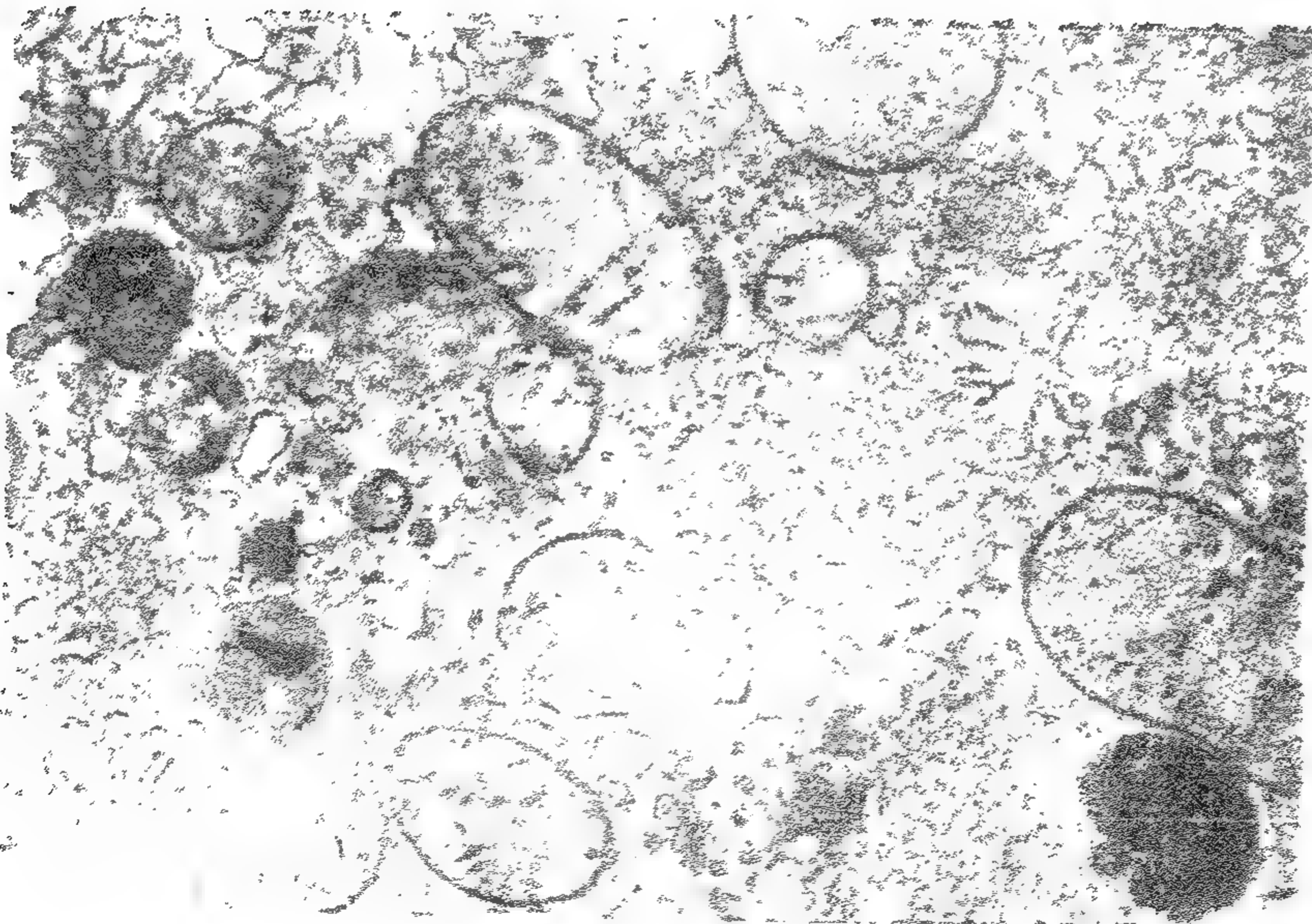
وهذه تنشأ من بلعمة phagocytosis أو رشف pinocytosis لمواد غريبة بواسطة الخلية واتحاد الحويصلة الناشئة عن انغماد الغشاء الخلوي مع ليزوسومة أولية فيتكون بذلك ما يسمى " بالجسم البلعي المخالف " . ويكون هذا الجسم بالطبع غنياً بإنزيم الفوسفاتيز الحمضي وإنزيمات التحلل الأخرى التي تعمل على هضم المادة المبتلعة ، وفي النهاية تمر نواتج الهضم من خلال غشاء الليزوسومة إلى السيئوبلازم .





(شكل ٥٩)

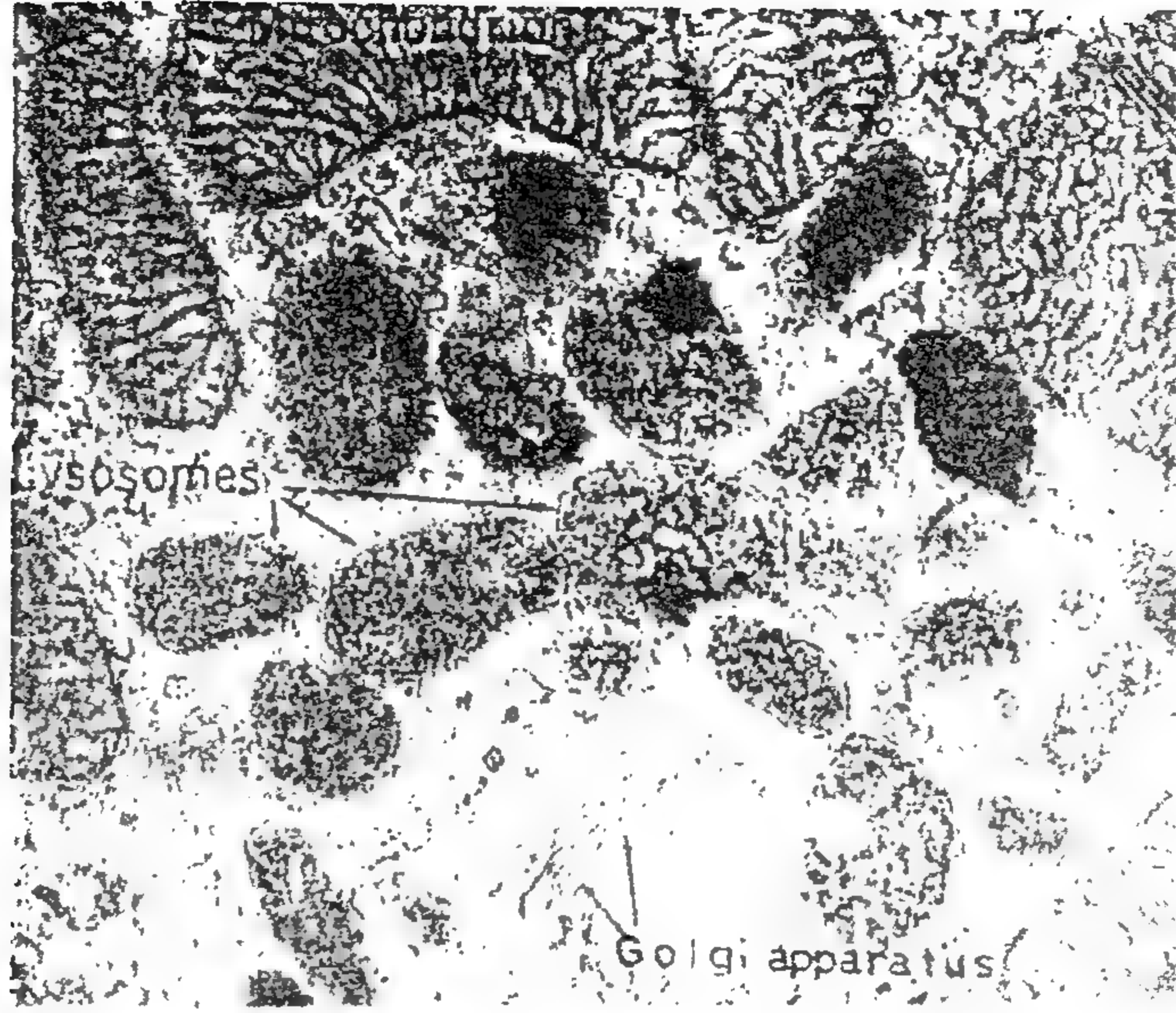
صورة بالميكروسكوب الالكترونى لسوزومات فى خلية كبدية



(شكل ٦٠)

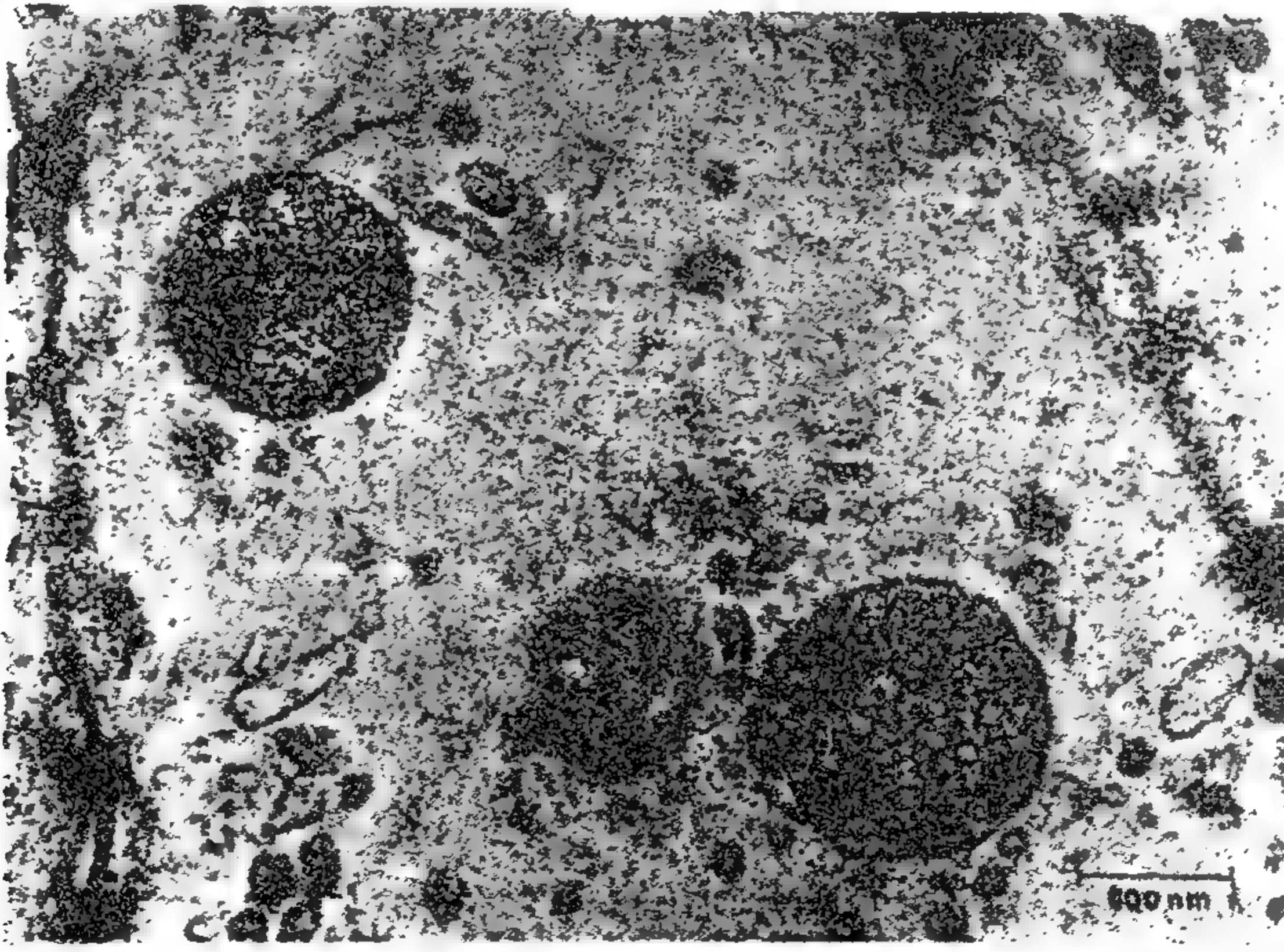
صورة بالميكروسكوب الالكترونى لخلية كبدية تحت تأثير مادة " فينوباربيتول " .





(شكل ٦١)

صورة بالميكروسكوب الالكترونى لتوضيح الليسوزومات فى احدى خلايا قشرة الغدة الكظرية



(شكل ٦٢)

صورة أخرى بالميكروسكوب الالكترونى لتوضيح الليسوزومات فى احدى خلايا اللفائفى فى الفأر



(شكل ٦٣)

صورة توضح تأثير المبيد الحشرى " جوزاثيون " فى إحداث كثافة شديدة فى الليسوزومات فى خلية عصبية حركية

### ٣ - الأجسام المستبقاة The residual bodies

ويقصد بها الليسوزومات المحتوية على المواد المتخلفة غير المهضومة . وفى الأميبا والأوليات الأخرى نجد أن هذه الأجسام يتم التخلص منها بالتبرز . وفى خلايا الحيوانات العليا نجد أن هذه الأجسام تبقى لفترات طويلة فى السيتوبلازم ويعتقد أن لها علاقة وثيقة بمظاهر الشيخوخة التى قد تعترى الخلية وقد أشار "جاتنبى وموسى" Gatenby and Moussa فى عام ١٩٥١ إلى أن الحبيبات الصبغية فى الخلايا العصبية الكبيرة تنتج من جهاز جولجى .

### ٤ - فجوات البلعمة الذاتية The autophagic vacuoles :

تنتج هذه الفجوات عن ابتلاع الليسوزومات لجزء من الخلية - مثل الميتوكوندريا وأجزاء من الشبكة الإندوبلازمية - بغرض هضمه والتخلص منه . وقد شوهد عدد كبير من هذه الفجوات فى كثير من الحالات المرضية والفسولوجية ، ومن أمثلة ذلك الفجوات المتعددة المحتوية على بقايا من الميتوكوندريا والتى تشاهد فى الخلايا الكبدية للحيوانات المحرومة من



الطعام .ويعتقد أن الخلايا فى هذه الحالة تتغذى على بعض محتوياتها دون أن ينتج عن ذلك ضرر كبير لا يمكن اصلاحه .

ومن الراضع أن هذه الطرز الأربعة من الليزوسومات تتميز بالثبات الواضح فى الخلايا الحية .

#### الأهمية الوظيفية لليزوسومات : Functional significance of lysosomes

تلعب الليزوسوما دورا هاما فى مختلف الأنشطة الخلوية مثل الهضم داخل الخلية وتكوين الليبوفوسين ( حبيبات دهنية ملونة ) ، كما تقوم بدور أساسى فى أيض المواد الكربوهيدراتية . ومن ثم نجد الليزوسوما بأعداد وفيرة فى الخلايا ذات الصلة بآيض الكربوهيدرات مثل الخلايا الكبدية وخلايا الكلية والأمعاء الدقيقة .

وفى بعض الحالات تقوم بدور أساسى فى إزالة بعض التراكيب النسيجية وذلك بابتلاعها وهضمها ، ومن الأمثلة على ذلك ما يحدث لذيل ( أبو ذنبية ) أثناء عملية تحوره الى ضفدع كامل النمو . فقد وجد أن تآكل واختفاء الذيل يرجع إلى وجود إنزيمات تحلل ( مثل الكاثبين ) بكميات كبيرة فى ليسوسومات خلايا الذيل حيث تنطلق هذه الإنزيمات خارج الليزوسومات مسببة هضم الخلايا والأنسجة الخاصة بالذيل .

كما يعتقد أن إنزيمات الليزوسومات الموجودة فى الحيوان المنوى تعمل على تسهيل اختراقه للبويضة أثناء الإخصاب .

وبالإضافة إلى ما سبق ، فإن الليزوسومات لها اتصال وثيق بكثير من الظواهر البيولوجية والمرضية مثل التشكل morphogenesis والشيخوخة senility وتحول الخلايا العادية إلى خلايا سرطانية .

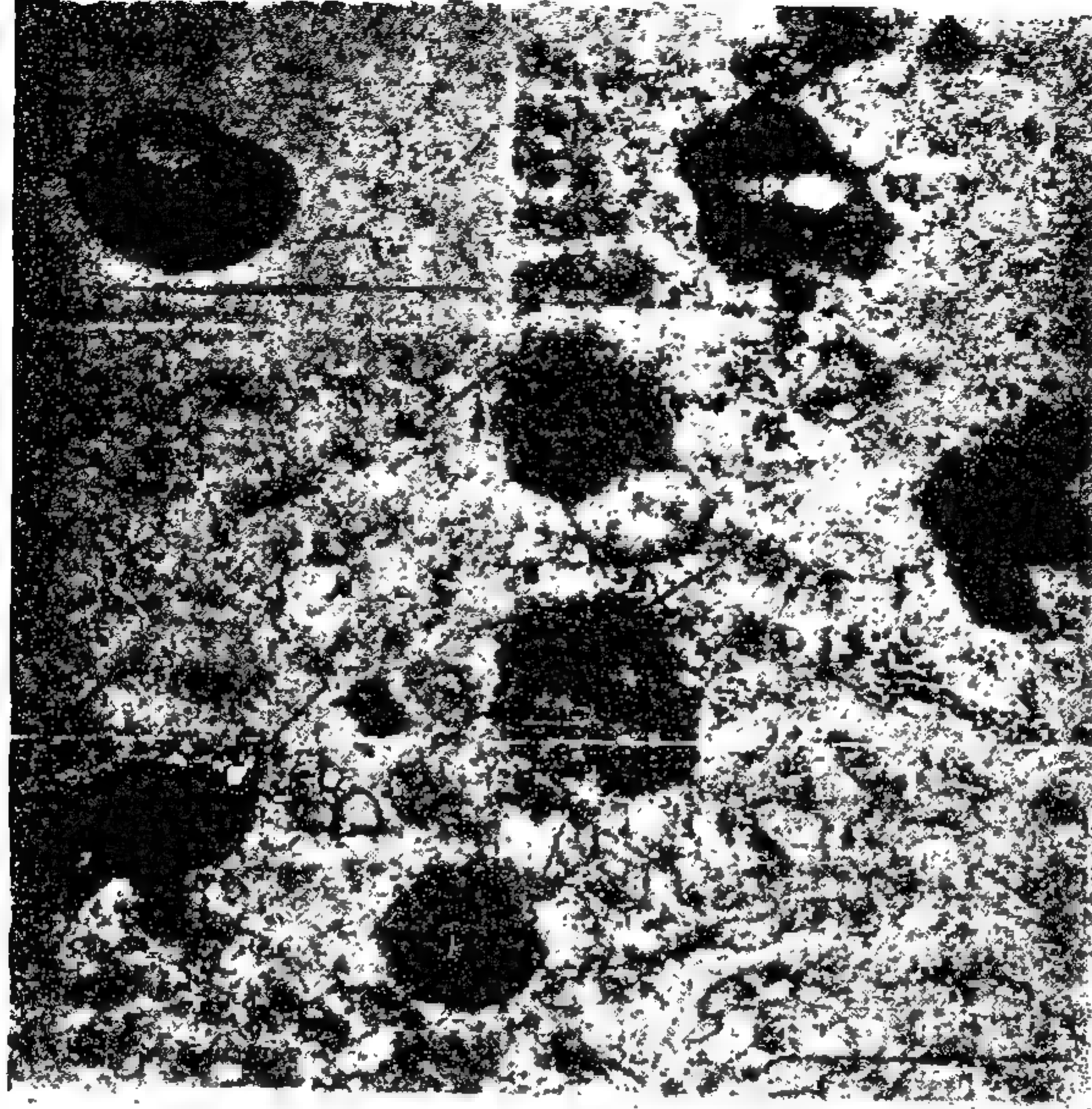
التغيرات الفسيولوجية والمرضية : Physiological and pathological changes  
تتأثر الليزوسومات فى كثير من الحالات الفسيولوجية والمرضية كما يتضح من الأمثلة الآتية :

١ - يؤدي تجويع الحيوانات إلى قلة أعداد الليزوسومات التى تختفى تماما إذا طالت مدة التجويع .



٢ - لوحظ فقدان تدريجى فى أعداد الليزوسومات مع التقدم نحو الشيخوخة خاصة فى الخلايا الكبدية .

٣ - أوضحت الدراسات ان أعداد الليزوسوما تقل فى الخلايا الكبدية السرطانية وكذلك فى خلايا كبد الحيوانات حاملة الاورام ( Banhawy ١٩٦٤ ) .



(شكل ٦٤)

خلية عصبية حركية فى القط توضح تأثير الإختناق على الليسوزومات

٤ - أثبتت الأبحاث أن اشعة إكس تسبب تجمع الليزوسومات معا فى بعض طرز الخلايا العصبية أو تفتتها واختفائها فى النهاية كما يحدث فى الخلايا الكبدية . وقد اتضح أن المعاملة لفترات طويلة بهذه الأشعة يسبب انفجار أغشية الليزوسومات وتحرر الإنزيمات التى بداخلها مما يسبب هضم وتحلل التراكيب الخلوية وبالتالي تحلل الخلايا .

٥ - تتغير أعداد وأحجام الليزوسومات عند إصابة الخلايا بالنكروزة والتحلل .

٦- وجد أن التعرض للمبيدات الحشرية يسبب تغير واضح فى ليزوسومات الخلايا الكبدية والعصبية ( خطاب وجنزورى ١٩٧٠ ، بنهاوى وجنزورى ١٩٨٠ ) ، وفى بعض الحالات

## البيروكسى سومات Peroxisomes

البيروكسى سومات عبارة عن جزيئات بيضاوية الشكل توجد فى السيتوبلازم ويصل قطرها إلى حوالى ٠.٣ - ١.٥ ميكرون ويحدها غشاء مفرد ، وتحتوى على حبيبات دقيقة نجتمع فى المركز مكونة لها معتما . ويصل عدد البيروكسى سومات فى الخلية الكبدية مثلا إلى ٧٠ - ١٠٠ ، وهى غنية بانزيمات معينة منها البيروكسيداز Peroxidase ، كاتاليز Catalases ، امينو أوكسيداز Amino oxidase ، يوريت أوكسيداز Urate oxidase . وتتواجد البيروكسى سومات فى كثير من خلايا الفقاريات - وكذلك فى الأوليات الحيوانية والخميرة وكثير من خلايا النباتات العليا .

### منشأ البيروكسى سومات : Origin of peroxisomes

تظهر البيروكسى سومات فى الخلايا النباتية والحيوانية كانتفاخات من الشبكة الإندوبلازمية ، كما أن إنزيماتها يتم تخليقها بواسطة الريبوسومات .

### النشاط الوظيفى للبيروكسى سومات Functional activities of peroxisomes

يبدو أن هناك علاقة فيما يتعلق بالانشطة الحيوية بين البيروكسى سومات وكل من البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا حيث كثيرا ما تشاهد البيروكسى سومات فى موقع قريب جدا أو ملاصق للميتوكوندريا والبلاستيدات فى النباتات الخضراء .

وقد وجد أن بيروكسى سومات الخلايا الكبدية تحتوى على أربعة أنزيمات تشترك فى التحولات الكيميائية الخاصة بفوق أكسيد الهيدروجين (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hydrogen peroxide . هذه الانزيمات هى :

يوريت أوكسيداز Urate oxidase

دى أمينوأوكسيداز D-amino oxidase

ألفا هيدروكسليك أسد أوكسيداز  $\alpha$ -hydroxylic acid odidase

( وهى كلها تعمل على تخليق فوق أكسيد الهيدروجين ) ، وكذلك إنزيم كاتاليز catalase الذى يعمل على تكسير مادة فوق أكسيد الهيدروجين حيث أنها مادة ضارة ، وبذلك يحمى الخلية من تأثيراتها .

## الفصل العاشر

### اجسام نسل NISSL BODIES

وصفت أجسام نسل أو الأجسام النمرية tigroid bodies - للتشابه في توزيعها في السيتوبلازم ببقشة جلد النمر - لأول مرة بواسطة الباحث " نسل Nissl عام ١٩٨٩ ". ولهذه الأجسام قابلية شديدة للاصطباج بالصبغات القاعدية ولهذا يطلق عليها عادة عدة أسماء منها: الأجسام الملونة chromophil bodies أو الاجسام القاعدية basophil bodies .

وهذه الأجسام مميزة للخلايا العصبية حيث أنها لا توجد سوى في هذا الطراز من الخلايا .

وتوجد أجسام نسل في الخلايا العصبية للانقاريات على هيئة حبيبات صغيرة ، بينما توجد في الخلايا العصبية للفقاريات على هيئة ألواح متباينة الأشكال والأحجام . وتنتشر هذه الأجسام في سيتوبلازم وشجيرات الخلايا العصبية ولكنها لا توجد في محاور هذه الخلايا .

#### التركيب الكيماوى chemical composition :

تتكون أجسام نسل من بروتين نووى بصفة أساسية ، أو بتعبير آخر من بروتين وحمض ر ن أ . وقد ود أن البروتين يتكون هنا أساسا من الأرجنين والهستدين .

#### توضيح أجسام نسل Demonstration :

يمكن مشاهدة أجسام نسل في الخلايا العصبية الحية غير المصبوغة بالاستعانة بميكروسكوب التباين . وفي العينات المثبتة بالمثبتات المناسبة يمكن إظهار أجسام نسل باستخدام بعض الأصباغ القاعدية مثل التلويدين الأزرق Toluidine blue ، هورت مثيلين بلو Borret's methylene blue ، صيغ جما Glemsa stain .



## الاهمية الفسيولوجية والاستجابة للمؤثرات المختلفة

Physiological significance and response to various stimuli

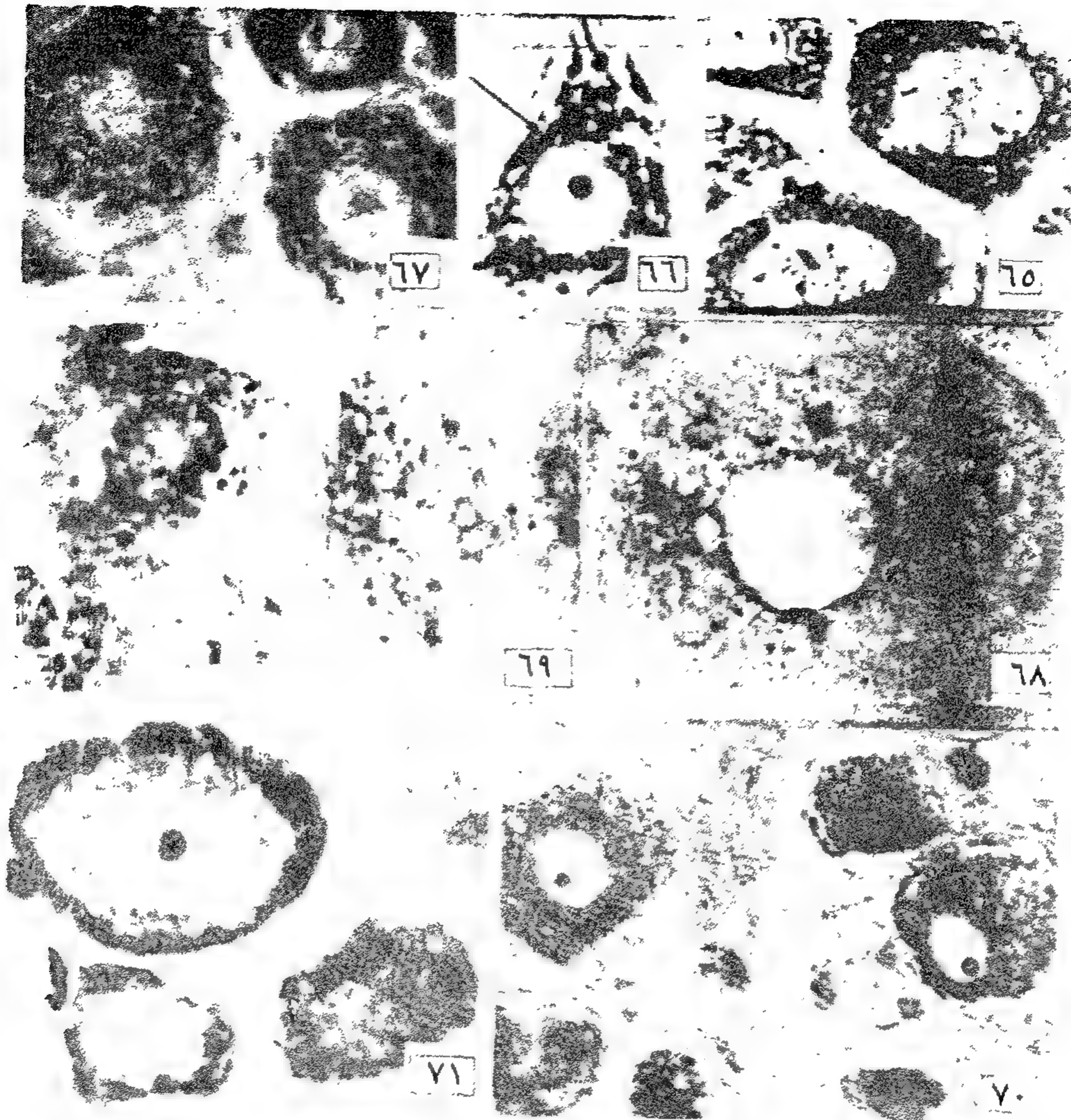
١ - تقل أجسام نسل بصورة ملحوظة خلال الإجهاد وقد لوحظ أن هذه الأجسام تتكون مرة أخرى عندما يسمح للحيوان بالراحة . وقد استنتج من ذلك أن هناك علاقة وثيقة بين هذه الأجسام والأنشطة الوظيفية للخلايا العصبية ، ويعتقد بعض الباحثين أن هذه الأجسام تقوم بدور هام في اختزان الأوكسجين في الخلايا العصبية .

٢ - وجد أن هذه الأجسام تختفى من الخلايا العصبية للحيوانات الرخوية بعد انتزاع العقد العصبية بشرط وضعها في ماء البحر الجارى . وإذا ما تركت العقد العصبية داخل جسم الحيوان بعد موته ، فإن أجسام نسل تتراكم بعد عشر ساعات عند أكمة المحور axon hillock ثم تأخذ بعد ذلك في الحركة إلى داخل المحور تاركة السيتوبلازم خاليا من تلك الأجسام ، وتكون هذه الحركة أوضح بدرجة أكبر إذا وجدت الخلايا في وسط يفتقر إلى الأوكسجين ويمكن الاستنتاج من ذلك أن النقص في غاز الأوكسجين هو الذى يسبب هجرة أجسام نسل إلى محور الخلية العصبية بعد موتها .

٣ - تتبع هايدن (١٩٤٨) التغيرات التى تحدث في أجسام نسل خلال عمليات التكوين والإصابات والتحلل ، وقد توصل إلى نتيجة مفادها أن أجسام نسل تتغير بدرجة ملحوظة حسب الحالة الفسيولوجية للخلية . وقد بحث هايدن التغيرات الخلوية الناجمة عن قطع العصب ، وقد وجد أن أجسام نسل تختفى بعد أيام قليلة كما تتضاءل كمية الحمض النووى الى حد كبير خلال أسبوعين . وقد توصل هايدن بذلك إلى حقيقة أن لأجسام نسل صلة وثيقة بكل من البروتينات النووية والوظائف الحركية والحسية للخلايا العصبية .

٤ - عند قطع محور خلية عصبية ، تبدأ أجسام نسل فى الاختفاء من عند الجزء المركزى من الخلية العصبية ويستمر تزايد اختفاء أجسام نسل من الداخل إلى الخارج حتى لا تبقى سوى حبيبات قليلة وبعض الألواح الصغيرة عند الحافة الخارجية للسيتوبلازم . وقد لوحظ أن أجسام نسل تتكون من جديد بعد خمسة عشر يوما تقريبا .

٥ - وجد ان أجسام نسل فى الحشرات ( موسى وبنهاوى ١٩٥٩ ) وفى الثدييات



(شكل ٦٥) اجسام نسل في خلية عصبية في الجرار

(شكل ٦٦) خلية عصبية في الحبل الشوكي

(شكل ٦٧) خلية عصبية عقدية في الدجاج

(اشكال ٦٨-٦٩) تأثير المبيدات الحشرية على اجسام نسل في الخلايا العصبية في احد اللافقاريات

(اشكال ٧٠-٧١) تأثير المبيدات الحشرية على اجسام نسل في الخلايا العصبية للفقاريات

( بنهاوى وآخرون ١٩٧٢ ، بنهاوى وجنزورى ١٩٨٠ ) تتأثر تأثيرا واضحا باستخدام المبيدات الحشرية : ففى الخلايا العصبية الصغيرة للحشرات تتجمع أجسام نسل فى كتل صغيرة ، وفى الخلايا العصبية الكبيرة يقل عددها ويتجمع معظمها عند حافة الخلية ، وفى المراحل المتأخرة من التسمم نجد أن أجسام نسل تكاد تختفى تماما .

٦ - تتأثر أجسام نسل بالعدوى بالفيروسات ( موسى وخطاب ١٩٦١ ) : ففى الدجاج صغير السن والمنقول اليه العدوى بفيروس نيوكاسل نجد ان أجسام نسل أصبحت صغيرة فى الحجم كما قلت قابليتها للصبغة ، وفى الدجاج البالغ نجد أن أجسام نسل تتفتت الى حبيبات صغيرة باهتة الصبغة .



## الفصل الحادى عشر

### الجسم المركزى THE CELL CENTRE

الجسم المركزى أو مركز الانقسام هو أحد العضيات السيتوبلازمية . ويوجد فى الغالبية العظمى من الخلايا الحيوانية وفى بعض النباتات البدائية ، ويلعب دورا هاما فى عملية انقسام الخلية .

#### موقعه فى الخلية (LOCALIZATION) :

يوجد الجسم المركزى فى الخلية البينية قريبا من النواة فى مواجهة الجزء الأكثر اتساعا من السيتوبلازم ، وأحيانا يشغل المركز الهندسى للخلية كما هو الحال فى الخلايا الدموية البيضاء الكبيرة ( الخلايا البيضاء التى تحتوى على نواة كُلوية الشكل أو شبيهة بحدوة الحصان ) ، أو عندما تكون النواة صغيرة أو زحزحت عن موقعها الأسمى . والقاعدة العامة أن الجسم المركزى له موقع ثابت لكل نوع من أنواع الخلايا .

#### التركيب (Structure) :

يظهر الجسم المركزى فى التحضيرات الميكروسكوبية المثبتة المصبوغة على هيئة حبيبية أو حبيبتين ( جسم ثنائى diplosome ) ويسمى عادة الحبيبة المركزية أو السنتريول (centriole) .

ولا تشاهد الحبيبات المركزية عادة فى الخلايا الحية بواسطة الميكروسكوب الضوئى وان كان كليفلاند (Cleveland) قد تمكن فى عام ١٩٥٣ من مشاهدتها فى الخلايا الحية ، وقام بمتابعتها فى الخلايا الليفية أثناء انقسامها غير المباشر واتجاهها نحو القطبين المتقابلين فى الخلية . بالاضافة إلى ذلك ، فإن الوضع الثابت للحبيبات المركزية وخصائصها العامة ، وسلوكها أثناء الانقسام وقابليتها للصبغة بالصفات الحمضية ، وميلها لصبغ الهيماتوكسولين الحديدى . كل ذلك لا يترك مجالا للشك فى أنها جسيمات حقيقية فى الستوبلازم ، وإن كان يبدو أنها تنشأ من جديد فى بعض أنواع الخلايا .

وفيما يتعلق بالمناطق التي تحيط بالسنتريول ، فقد شوهد في الخلايا المثبتة المصبوغة منطقة راتقة تحيط بالسنتريول وتسمى المركز الدقيق (microcentrum) أو الجسم المركزي (centrosome) ، تليها منطقة كثيفة تسمى الكرة المركزية (centrosphere or archoplasm) . ومن هذه المنطقة تنشأ الأشعة النجمية أو الكرة النجمية (astrosphere) بصورة متشعبة . وعلى سطح هذه المنطقة يوجد جهاز جولجي خاصة في الخلايا الجرثومية .

وتنفصل الجيبتان المركزيتان عن بعضهما أثناء المرحلة التمهيديّة للانقسام غير المباشر وتتجه كل منهما إلى أحد قطبي الخلية ، ويبدو المركز الدقيق عندئذ على هيئة جسم مستطيل أو قنطرة صغيرة تسمى الوصلة المركزية (centrodesmosis) وهي التي يتنشأ منها مغزل الانقسام غير المباشر .

### التركيب الدقيق للحبيبة المركزية

#### Ultrastructure of the centriole

تظهر الحبيبة المركزية في الصورة المأخوذة من الميكروسكوب الإلكتروني على هيئة جسم اسطواني صغير قطره حوالي ١٥ ر . من الميكرون وطوله حوالي ٣ ر . إلى ٥ ر . من الميكرون ، وداخله منخفض الكثافة ولكن جدار الأسطوانة أكثف ويحتوي على تسع مجموعات من العصي أو الأنابيب التي يتراوح قطرها من ١٥٠ - ٢٠٠ أنجستروم ويكون مائلا نحو المحور . وهذه الأسطوانة خاوية من الداخل فلا توجد بداخلها أية جسيمات أو أنيبات ، وعلى ذلك يشار إلى هذا النموذج المتمثل في السنتريول " ٩ + ٠ " كما هو موضح في الأشكال .

وقد لاحظ بعض الباحث وجود جسيمات معينة بجانب السنتريول تعرف بالتوابع (satellites) ، وتكون على هيئة أجسام كثيفة يبلغ كل منها حوالي ٧٠٠ أنجستروم وغالبا ما تكون حول الحبيبة المركزية وأحيانا توجد متصلة بجدارها .

وقد وصف باحثون آخرون أجساما أخرى يمكن اعتبارها حبيبات مركزية بنوية daughter centrioles يبدو أنها تنشأ من الحبيبة المركزية الأم . ويمكن ربط ذلك بعملية تضاعف الحبيبة المركزية وكذلك بما هو معروف من أن الحبيبتين المركزيتين في حالة وجودهما بصورة مزدوجة تكونان متعامدتين على بعضهما . كذلك يرى البعض أن التراكيب الموجودة



(شكل ٧٢)

التركيب الدقيق ( بالميكروسكوب الالكتروني ) يوضح الهيئة المركزية ( السترون "Cc" ) واحد الكروموسومات (Chr)



حول الجبيبة المركزية ليست دائمة ، ولكنها تظهر بصورة مرحلية ترتبط بدورة نشاط الجبيبة المركزية .

على أنه يلاحظ أنه حتى الآن لم يثبت الميكروسكوب الالكترونى وجود الجسم المركزى ( المركز الدقيق ) والوصلة المركزية ، ولذلك فإنه من الصعب تأكيد أو نفى وجود هذه الأجزاء أو عدم وجودها .

#### الجبيبات المركزية والأهداب والأسواط : Centrioles, cilia and flagella

أوضحت الدراسات التى أجريت بالميكروسكوب الالكترونى أن التركيب الدقيق لكل من الجبيبات القاعدية للأهداب والأسواط والجبيبات المركزية القريبة فى الطلائع المنوية شبيه بما سبق وصفه فى الجبيبة المركزية فى الخلية العادية ( تتكون كل جبيبة قاعدية بنفس الطريقة ٩ + ٠ . وهو نفس نموذج الجبيبة المركزية ) . وقد تم تتبع عملية تكوين الأهداب فى بعض الخلايا أثناء نموها وقد وجد أن أزواج الخيوط ( أو الأنبيبات ) التى تكون التركيب النموذجى للأهداب وذبول الحيوانات المنوية تنشأ باتصال مباشر مع الأنبيبات الموجودة فى إحدى الجبيبتين المركزيتين بينما تبقى الجبيبة المركزية الأخرى فى حالة غير نشطة . بالإضافة إلى ذلك ، فقد وجد أن العقلة الخارجية فى الخلايا المخروطية والقضيبية فى شبكة العين إنما تنشأ من هدب ابتدائى وأنها أيضا ترتبط بنشاط الجبيبة المركزية .

#### الأهداب والأسواط (Cilia and flagella)

تشبه الأهداب والأسواط فى تركيبها الدقيق الجبيبة المركزية فى أنها تتكون أيضا من تسع مجموعات من الأنبيبات منتظمة على هيئة أسطوانة قطرها ١٥-٢٠ ميكرون . ولكنهما يختلفان عنها فى النواحي الآتية :

أ - يحتوى كل منهما على زوج إضافى من الأنبيبات فى المركز الداخلى للأسطوانة وعلى ذلك يكون النموذج الخاص بها " ٩+٢ " بدلا من " ٩+٠ " التى توجد فى الجبيبة المركزية .

ب - والمجموعات السطحية فى الأهداب والأسواط تكون " ثنائية " فيتكون كل منها من أنبيبتين ، بينما الجبيبة المركزية ثلاثية الأنبيبات ( قارن الاشكال ٥٣-٥٥ بالاشكال ٥٧-٦٠ ) .

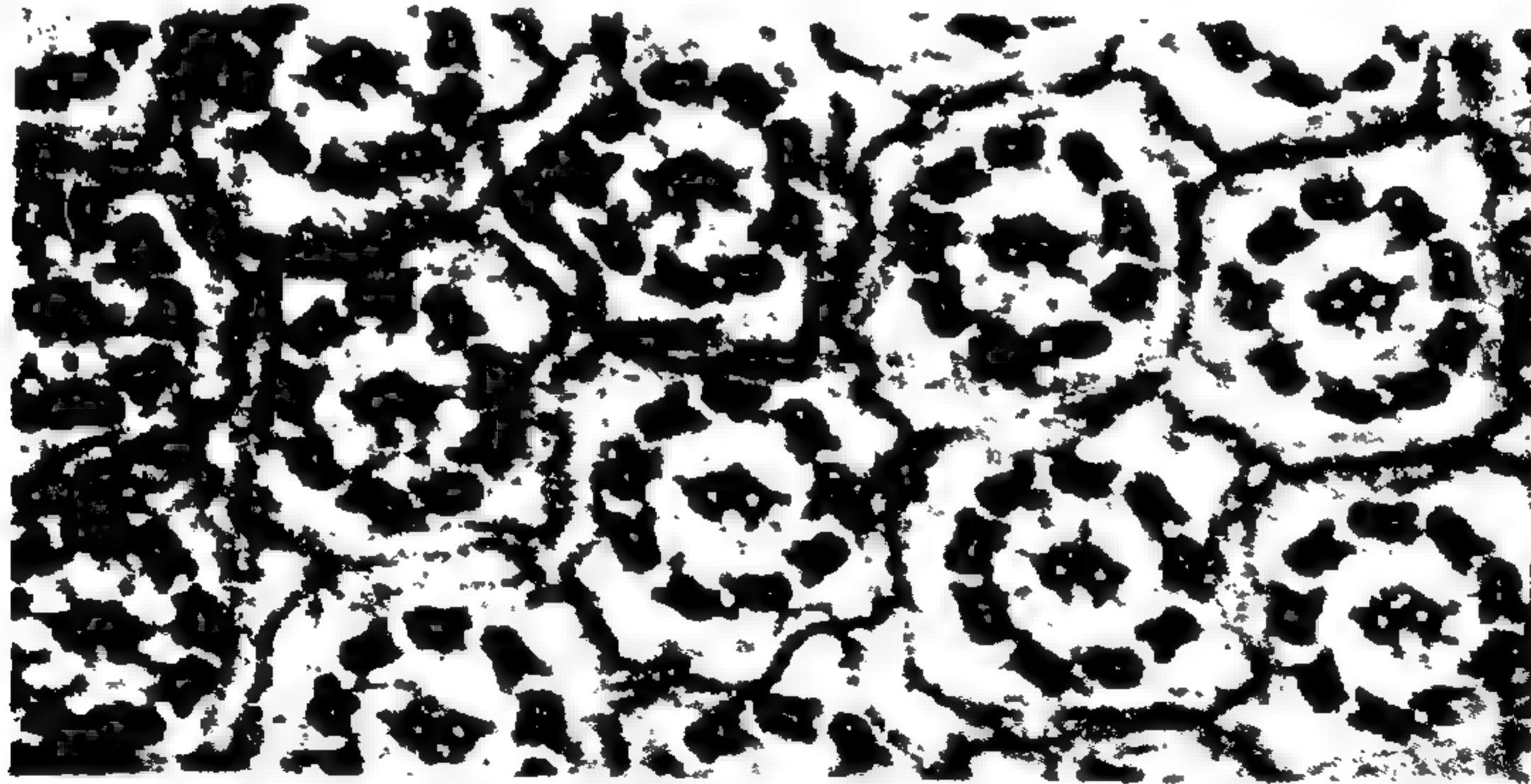
ج - تحاط كل من الأهداب والأسواط بغشاء هو امتداد للغشاء البلازمي ، بينما توجد الحبيبة المركزية في السيتوبلازم ولا يوجد غشاء حولها .

وما هو جديد بالإشارة انه عند انتزاع الأهداب والأسواط وعزلها عن الخلايا يمكنها أن تستمر في الاهتزاز إذا كان الوسط الموجودة به محتويا على الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) . ومن ذلك يتضح أن ATP يمدّها بالطاقة التي تستخدمها في الحركة . ويعنى ذلك أيضا أن الأهداب والأسواط ليست جسيمات سلبية تتحرك فقط عن طريق بقية الخلية ، ولكنها ذاتية الحركة .

**الحبيبات المركزية وجهاز الانقسام غير المباشر :**

Centrioles and mitotic apparatus

سبقت الإشارة إلى أن الحبيبة المركزية تلعب دورا هاما في عملية انقسام الخلية ، وذلك لأن تكون جهاز الانقسام غير المباشر (mitotic apparatus) يرتبط ارتباطا وثيقا بنشاط



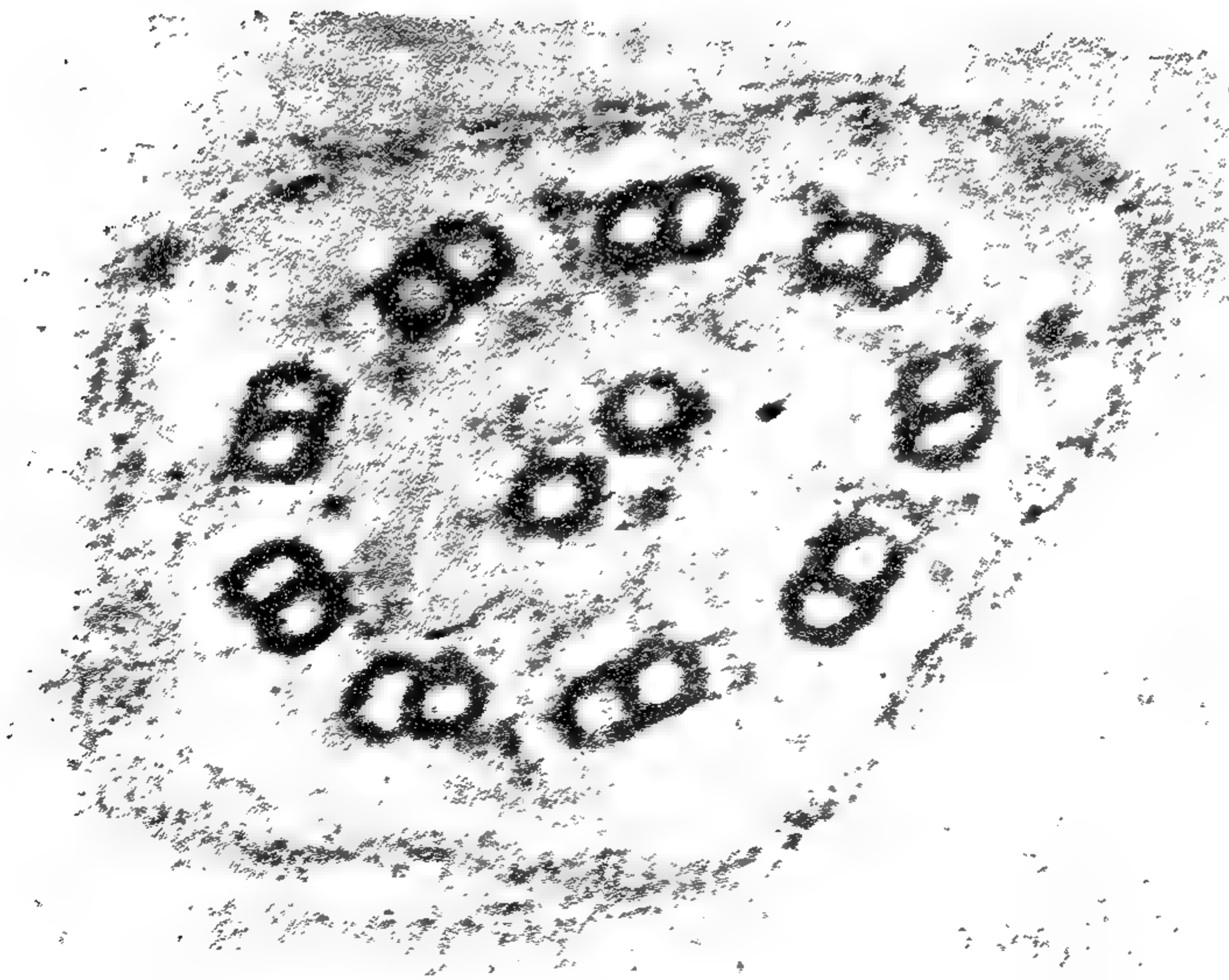
(شكل ٧٣)

صورة بالميكروسكوب الإلكتروني توضح التركيب الداخلي للأهداب في خلية طلائية

الحبيبة المركزية اثناء عملية الانقسام . ويطلق اسم هذا الجهاز على الأشعة النجمية والمغزل التي تشاهد وتوصف في الخلايا المنقسمة بواسطة الميكروسكوب الضوئي .

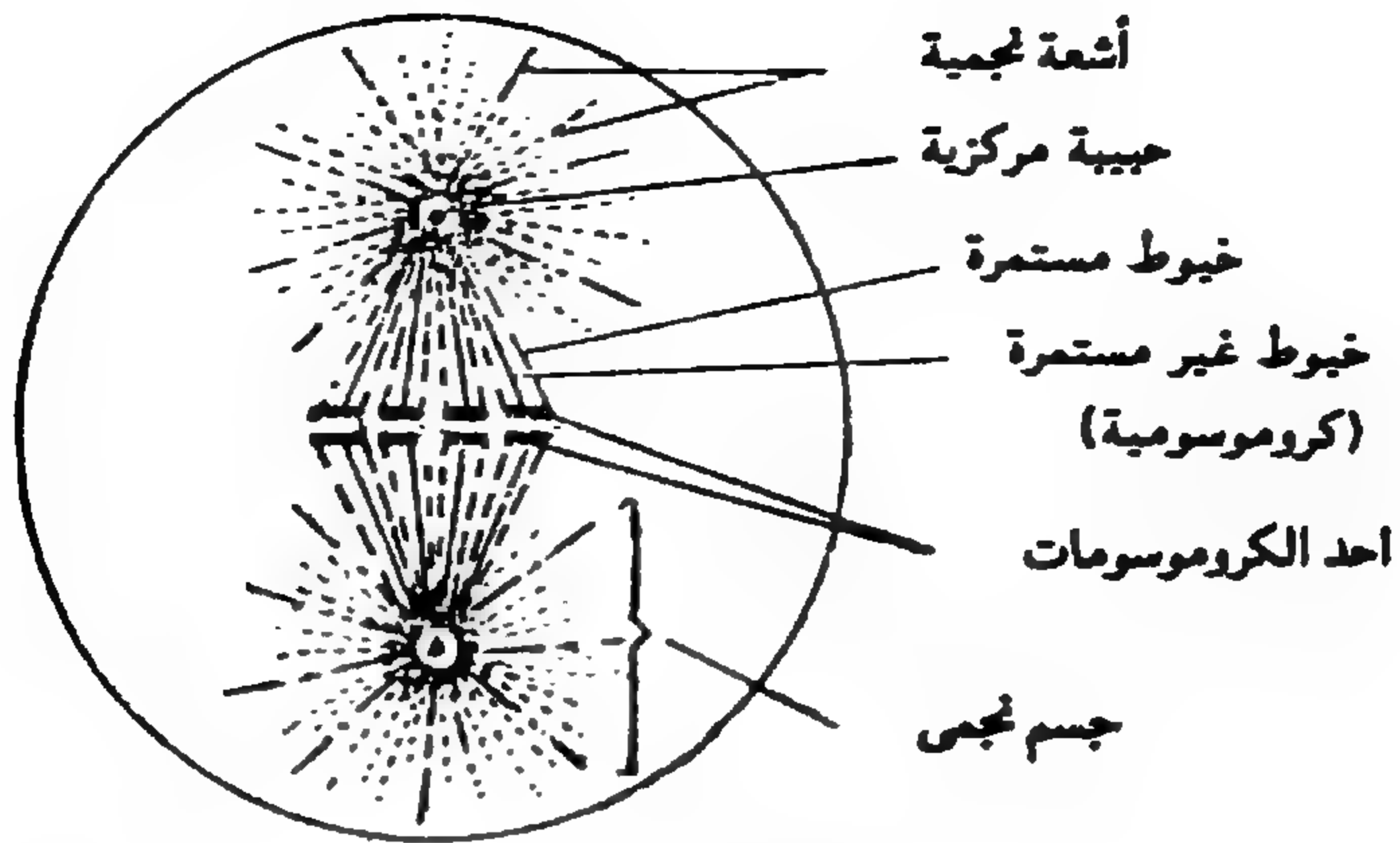
ويسبق انقسام النواة ، انقسام الحبيبة المركزية الى حبيبتين ، ويلي ذلك انقسام الجسم المركزى بأكمله . وينفصل الجسمان المركزيان عن بعضهما ويتحركان بعيدا عن بعضهما حتى يقع كل منهما عند أحد قطبي الخلية المتقابلين . ويبدأ السيتوبلازم المحيط بكل منهما فى التشعع على هيئة خيوط دقيقة غير قابلة للصبغة وتسمى بالأشعة النجمية (astral rays) وتمتد تلك الخيوط أيضا بين الجسمين المركزين مكونة المغزل (spindle) ويطلق على الأشعة النجمية والمغزل النجم المزدوج (amphiaster) .

وتظهر الخيوط المغزلية فى التحضيرات المثبتة المصبوغة متكونة من خيوط متصلة تمتد من أحد قطبي الخلية إلى القطب الآخر ، وخيوط كروموسومية أو نصف مغزلية (chromosomal or half spindle fibres) وهى خيوط قصيرة يربط كل منها نصف



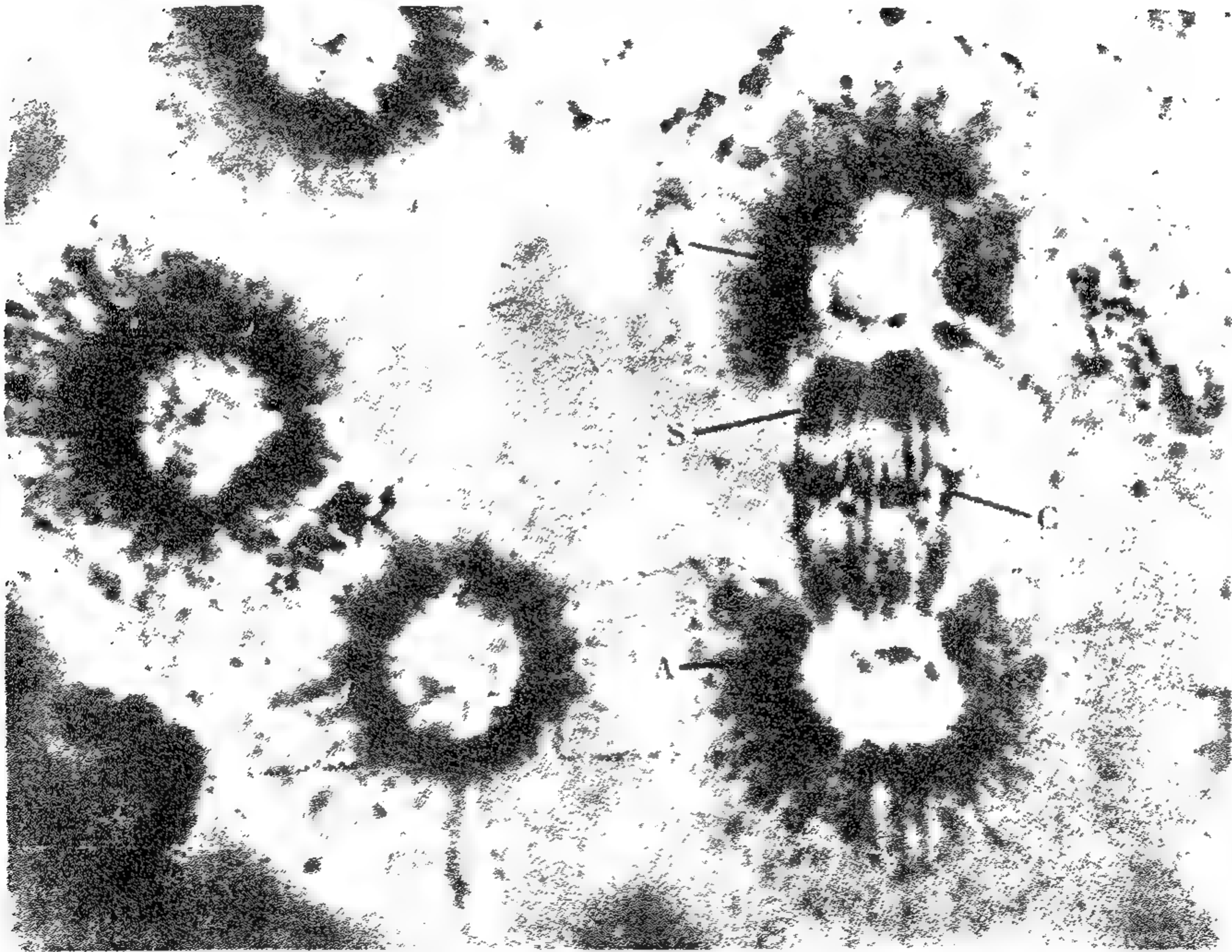
(شكل ٧٣)  
تركيب احد الأسواط بالميكروسكوب الإلكتروني





(شكل ٧٤)

جهاز الانقسام الميتوزى فى المرحلة الاستوائية



(C) كروموسوم

(A) الجسم النجمي

(S) المغزل

(شكل ٧٥)

صورة بميكروسكوب التضاد (التباين) لجهاز الانقسام الميتوزى فى بويضة احد الحيوانات

(S) المغزل (A) الجسم النجمي (D) كروموسوم

كروموسوم معين بأحد قطبي الخلية . ومعنى ذلك أن عددها مساو لعدد الكروموسومات فى خلية . ويرى البعض وجود روابط بين المنطقتين (interzonal connections) تمتد بين مجموعتى الكروموسومات المتقابلتين فى المرحلة الانفصالية .



( شكل ٧٦ )

صورة بالميكروسكوب الالىكترونى لخلية من أمهات النى فى خصبة أحد الذكور الدجاج

وكان الاعتقاد السائد أن الخيوط المغزلية لا ترى في الخلايا الحية إلا إذا أضيف حامض معين للوسط الموجود به تلك الخيوط غي أن شيرر (Scharrer) أعلن عام ١٩٤٤ أن هذه التراكيب أجسام حية وأنه تمكن من مشاهدتها في بعض أنواع الخلايا في السوس والسوطيات .<sup>٥</sup> بالإضافة إلى ذلك فإن الدراسات التي أجريت بواسطة الاستقطاب الضوئي ومكروسكوب التباين والمكروسكوب الإلكتروني قد أثبتت حقيقة وجود الخيوط المغزلية والأشعة النجمية .

ويمكن بواسطة إبرة التشريح الدقيق أو القوة الطاردة المركزية تحريك الغزل كما يمكن أن يتحرك الجهاز النجمي خلال السيتوبلازم وتنشئ خيوطه أو تلتوى بواسطة هذه الإبرة .





## الفصل الثامن عشر

### التراكيب اللييفية FIBRILAR STRUCTURES

يحدث اثناء الفترة المبكرة للنمو أثناء تميز الخلايا أن يتشكل جزء من سيتوبلازم بعض الخلايا التي لها وظائف خاصة بطرق متعددة مكونا تراكيب ليفية مثل اللييفات العصبية واللييفات العضلية .

#### Neurofibrils اللييفات العصبية

توجد اللييفات العصبية في الخلايا العصبية فقط ، وهي تظهر على شكل خيوط دقيقة في السيتوبلازم تمتد في جميع الاتجاهات وكذلك في المحور والشجيرات . وقد أمكن في العينات المثبتة اظهار اللييفات العصبية وفق طرق معينة مثل طريقة كاهاال Cajal وطريقة ولس Willis باستخدام نيترات الفضة .



(شكل ٧٧ ، ٧٨)

اللييفات العصبية في إحدى الخلايا العصبية في الكتكوت

وقد كان الوجود الحقيقي لهذه اللييفات محل جدل منذ أن اكتشفها ريماك Remak (١٨٤٣) ، حيث أن كثيرا من الباحثين لم يتمكنوا من مشاهدتها في الخلايا الحية ومن ثم اعتبروا ظهورها في التحضيرات مجرد شئ غير حقيقي ناتج عن تأثير الكيماويات المستعملة

فى التحضير . على أن كثيرا من الباحثين استطاعوا مشاهدتها فى الخلايا العصبية للفقاريات واللافقاريات خاصة باستخدام ميكروسكوب التباين الضوئى . وبالإضافة إلى ذلك فإنه عند فحص السنويلازم الحى فى محاور الألياف العصبية العملاقة بمجهر التباين الضوئى لوحظ وجود مادة مرتبة على هيئة تكوينات دقيقة موازية للمحور . وقد أمكن فيما بعد فصل مكونات المحور عن الغلالة الميلينية وفحصها بالمجهر الالكترونى .



(شكل ٧٩)

الليفات العصبية فى خلية عصبية فى الحبل الشوكى لأحد الفقاريات



## التركيب باستخدام المجهر الإلكتروني Ultrastructure :

تبدو اللييفات العصبية للخلايا العصبية فى العقد الشوكية للفأر الأبيض كخيوط تكون شكلا شبكيا . وقد أوضح الفحص بالمجهر الإلكتروني لسنوبلازم المحاور العصبية المفصولة وجود مادة ليفية تتكون من اللييفات ذات أطوال غير محددة وأسطح ناعمة وذات أقطار يتراوح بين ١٠ - ٤٠ ميكرون . كما أوضحت الدراسات التى أجريت على محاور الألياف العصبية الكيرالينية للفص العصبى للفدة النخامية وجود خيوط دقيقة ( أقطارها ١٠٠ أنجسترون أو أقل ) وأخرى سمكية ( أقطارها من ٢٠٠ - ٣٠٠ أنجسترون ) . وطول هذه الخيوط غير محدد وهى تناظر تلك التى سبق وصفها فى سيتوبلازم المحاور المفصولة عن الغلالة الميلينية ، وتسمى هذه الخيوط " اللييفات العصبية الأولية Primary neurofibrils ولهذه الخيوط مظهر أنبوى محدد ذو جوانب تتميز بكثافتها العالية كما تظهر فى صور المجهر الإلكتروني . وعلى ذلك فهناك طرازان من خيوط سيتوبلازم محاور الخلايا العصبية ، وهى الخيوط العصبية neurofilaments ومن ثم فإنه يمكن القول أن الخيوط العصبية واللييفات العصبية الأولية تناظر ما سعى باسم اللييفات العصبية neurofibrils التى تظهر فى التحضيرات الهستولوجية والخلوية العادية .

## المراحل التكوينية للييفات العصبية Development :

أوضح المؤلفون أن اللييفات العصبية فى الخلايا العصبية للحبل الشوكى والعقد العصبية للأطوار الجنينية المبكرة تظهر كخيوط دقيقة متداخلة فقط فى منطقة التل المحورى axon hillock ، على أن هذه اللييفات تكون أوضح فى المراحل الجنينية المتأخرة ، كما تبدأ فى الإمتداد حول النواة فى عدد محدود من الخلايا العصبية إلا أنه فى معظم الخلايا يتحدد وجود اللييفات فى منطقة التل المحورى فقط ، كما تبدو هذه اللييفات ممتدة على هيئة حزمة داخل سيتوبلازم محاور الخلايا العصبية .

وفى مراحل التكوين المتقدمة تزداد كمية اللييفات العصبية وتحيط بالنواة وتبدو متداخلة فى منطقة السيتوبلازم كما أنها تكون حزما تمتد داخل التفرعات الشجرية .

وفى الحيوانات المسنة ، تتقطع اللييفات العصبية فى الاتجاه العرضى الى خيوط قصيرة مما أدى إلى التباس الامر أمام بعض الباحثين الذين اعتبروها أجسام سبحية " ميتوكوندريا " .

### أهمية اللييفات العصبية : Significance of neurofibrils

لا يزال الدور الوظيفي للييفات العصبية محل جدل ذلك أنه بينما يرى بعض الباحثين في مجال الجهاز العصبي أن لها دورا في التوصيل العصبي نجد البعض الآخر ينكرون تماما هذا الدور ويقولون بأن التوصيل العصبي يحدث على السطح الغشائي لمحاور الخلايا العصبية . وقد دلت بعض الدراسات على أن مادة اللييفات العصبية حساسة جدا حيث أن قطع المحاور يؤدي إلى تحطمها قبل أن يتأثر التوصيل العصبي .

كذلك يعتقد بعض الباحثين بأن اللييفات العصبية لها دور في النشاط الغذائي للمحور . وعلى ذلك فإنه لها دخلا في عمليات تخليق ومرور بعض المواد الهامة للمحور . وهناك من الدلائل ما يشير إلى أن سيتوبلازم المحور يتم تكوينه باستمرار في سيتوبلازم الخلية العصبية .

وبالإضافة الى ذلك فإن بعض المشتغلين بعلم الخلية يعتقدون بأن هذه اللييفات أو الأنابيبات قد تلعب دورا هاما في حمل بعض الأنظمة الإنزيمية أو المركبات الأخرى اللازمة للنشاط الوظيفي للنهايات العصبية والمتعلق بانتقال السبيل العصبي .

### التغيرات المرضية في اللييفات العصبية : Pathological alterations

تعطى اللييفات العصبية دلالة على مدى النشاط الخلوي حيث يعتقد أن مقدار سمكها يختلف في الحالات الفسيولوجية المختلفة . كما أن اللييفات العصبية تستجيب بطرق متعددة لتأثير المواد الكيماوية المختلفة . فقد وجد مثلا أن اللييفات العصبية في خلايا النخاع المستطيل للفأر تتفتت وتختفى من أجسام الخلايا تحت تأثير بعض المبيدات الحشرية ولا يبقى منها سوى تلك الممتدة في المحاور . وعلى العكس من ذلك فإن اللييفات العصبية كخلايا بركنجه لا تتأثر بدرجة ملحوظة بهذه المواد .

## اللييفات العضلية Myofibrils

يتميز ستوبلازم الالياف العضلية بدرجة متميزة حيث يتحور معظمه لتكوين طراز خاص من اللييفات يعرف باسم " اللييفات العضلية myofibrils " وهي تميز بقدرتها الفائقة على الانقباض .

### التركيب : structure

تبدو اللييفات العضلية متجانسة في العضلات الملساء (اللاإرادية) ، أما في العضلات الهيكلية ( اللاإرادية ) ، والقلبية فهي تظهر مخططة لوجود مناطق داكنة dark bands متبادلة مع أخرى مضيئة light bands . وفي هذه الخلايا يبقى جزء صغير من السيتوبلازم على حالته الجنينية ويسمى الساركوبلازم sarcoplasm وهو يقع بين اللييفات العضلية خاصة في المنطقة المحيطة بالنواة .

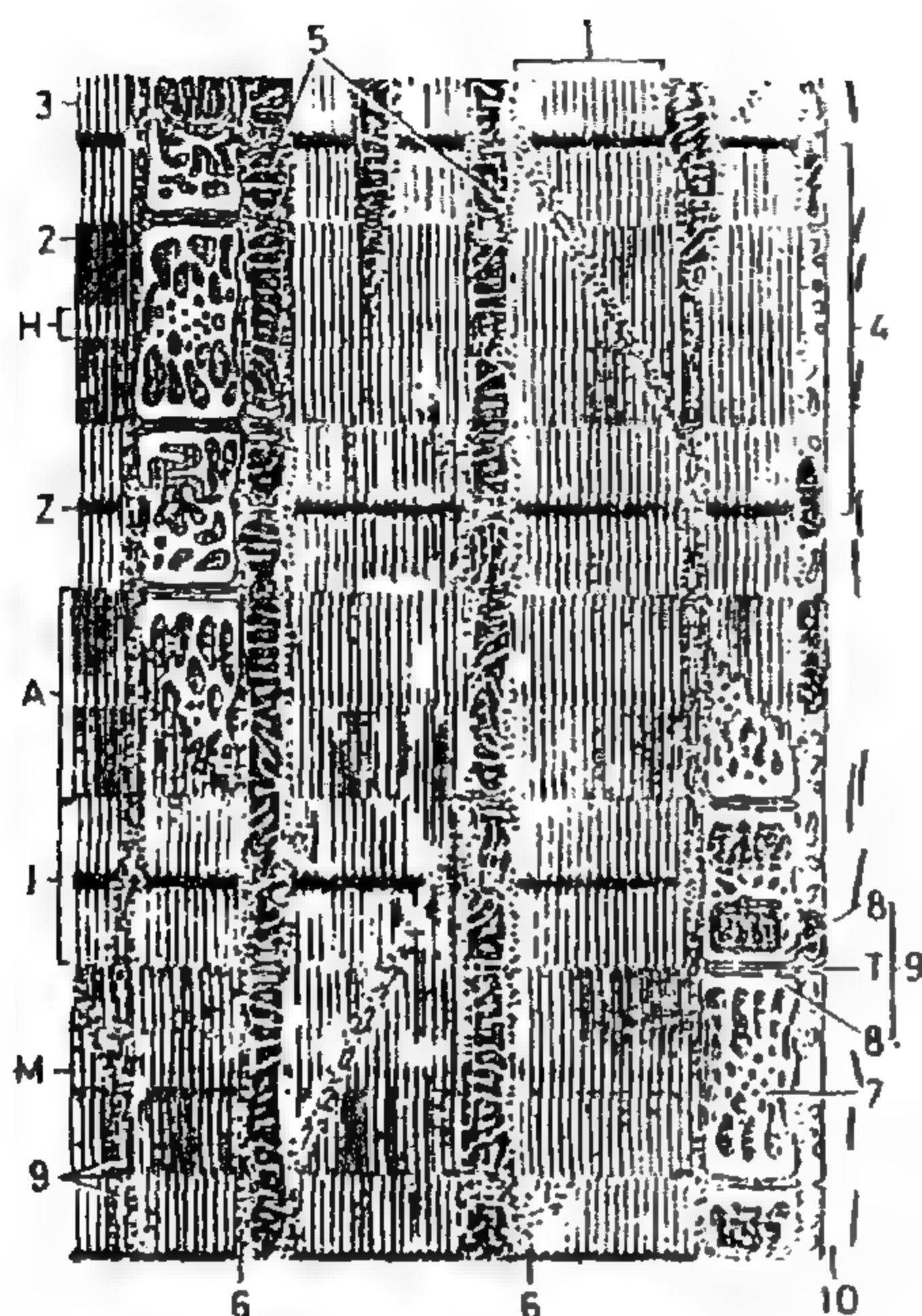
وتتكون العضلات الهيكلية من حزم من ألياف اسطوانية الشكل متعددة الأنوية يصل قطرها حوالي ١٠ - ١٠٠ ميكرون ، بينما تمتد في الطول لعدة ملليمترات أو حتى بضع سنتيمترات . ويسمى غشاء الليفة العضلية ، الغشاء العضلي ، sarcolemma وهو يمثل الغشاء الخلوي إلا أنه مهياً كهربياً للاستجابة للسياالات العصبية بصورة معينة ومن ثم تستجيب الليفة العضلية كلها .

وتكون اللييفات العضلية الأداة الانقباضية للليفة العضلية ، وتمتد كل ليفة على هيئة خيط رفيع يصل قطره إلى حوالي واحد ميكرون وهي تبدو تحت المجهر الضوئي مخططة عرضياً مما يعطى الشكل المميز للليفة العضلية كلها .

وتتكون الليفة العضلية من وحدات انقباضية تكرارية تسمى القطع العضلية sarcomeres يحد كل منها خط أو شريط داكن يسمى خط زد (Z) أو الحاجز البعيد telophragm ، بمعنى أنه يمكن القول بأن القطعة العضلية هي المنطقة من اللييفة العضلية الواقعة بين خطي زد متتاليين . ويلاحظ أن خط زد يقع في منتصف منطقة باهتة ( أو مضيئة ) يطلق عليها النطاق أو المنطقة I . أما النطاق الآخر - وهو يقع في المنطقة الوسطى من القطعة العضلية فهو أكثر دكته من النطاق الأول ويسمى النطاق أو المنطقة A . وفي ظروف فسيولوجية خاصة تظهر عند منتصف هذا النطاق منطقة أقل دكته تسمى قرص



هانسن أو قرص هـ (H) . وهو يقسم النطاق الى قسمين . وفي العضلة المنبسطة يبلغ طول المنطقة حوالي ١٥ ميكرون بينما يبلغ طول المنطقة حوالي ٨ . ميكرون . ويمكن بسهولة ، باستخدام الميكروسكوب الضوئي ، تمييز مناطق الخيوط الرفيعة ( نطاق I ) من مناطق الخيوط السميكة ( نطاق A ) .



(I) منطقة "I"

(H) قرص "H"



(A) منطقة "A"

(Z) خط "Z"

(شكل ٨١)

التركيب الدقيق لخلية عضلية

١- ليفات عضلية

٢- خيوط "ميوسين" مكونة منطقة "A"

٣- خيوط "اكتين" مكونة منطقة "I"

(شكل ٨٠)

صورة بالميكروسكوب الالكتروني

لعضلة مخططة في الأرنب .

## التركيب الدقيق للييفات العضلية Ultrastructure of myofibrils :

توضع صور المجهر الإلكتروني أن اللييفات العضلية تتكون من تراكيب دقيقة منتظمة الترتيب تسمى " الخييطات العضلية myofibrils " . وهناك نوعان من الخييطات العضلية فى الفقاريات والحشرات : أحدهما يصل قطره إلى حوالى ١٠٠ أنجستروم وطوله إلى حوالى ١.٥ ميكرون أما الطراز الثانى فيصل قطره إلى ٦٠ أنجستروم وطوله إلى حوالى ٢ ميكرون .

وفى حالة الاسترخاء ، نجد أن النطاق I يتكون من خييطات رفيعة بينما تتكون المنطقة H من خييطات سميكة ، وأن النطاق A يتكون من كلا النوعين من الخييطات . ويمكن ملاحظة النمط المنتظم لترتيب هذه الخييطات فى قطاع عرضى فى النطاق A . وفى عضلات الفقاريات ، نجد أن كل خيط سميك يحيط به ستة من الخييطات الرفيعة يقع كل منها فى وسط ثلاثة من الخييطات السميكة . ويلاحظ أن الخييطات الرفيعة لقطعة عضلية تمر عبر الخط Z إلى القطعة العضلية التالية .

ويتصل نوعا الخييطات ( السميكة والرفيعة ) معا بنظام معين من الوصلات العرضية التى تلعب دورا هاما فى الإنقباض العضلى . ويتصل كل خيط سميك بالخييطات الستة الرفيعة المحيطة به كل مسافة ٤٠٠ أنجستروم فى نظام أهليلجى ( حلزونى ) له أهمية خاصة فى عملية الإنقباض والإتبساط .





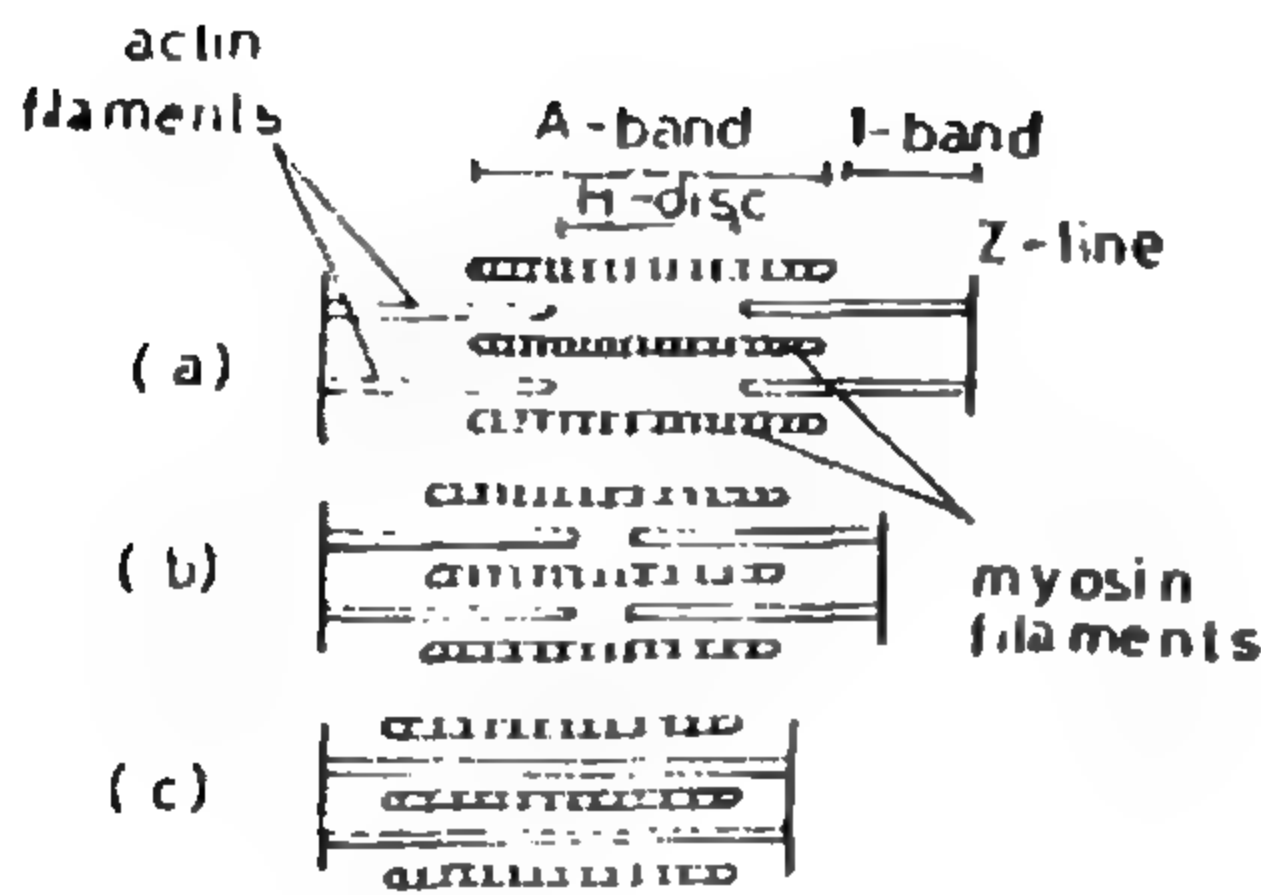
(شكل ٨٢)  
صورة بالميكروسكوب الإلكتروني للبيئات العضلية



## ميكانيكية الانقباض العضلي على أساس فعاليات الخييطات العضلية : Macromolecular mechanism of contraction

لقد أوضحت الدراسات المجهرية أن الإنقباض العضلي يحدث على مستوى الخييطات العضلية . ويمكن دراسة هذه التغيرات

في الحالة الحية باستخدام ميكروسكوب التباين الضوئي . ويلاحظ أنه بينما تبقى المنطقة ثابتة الطول على مدى امتداد العضلة ، نجد أن المنطقة تتغير عند الإنقباض . وفي نفس الوقت نجد أن طول المنطقة I يتغير مع الإنقباض بحيث نجد أن المسافة بين نهاية المنطقة H لقطعة عضلية وبداية منطقة H لقطعة أخرى تظل ثابتة . وقد أدت هذه المشاهدات إلى استنباط ما يسمى بنظرية انزلاق الخيوط Gliding mechanism theory . وعلى أساس هذا الافتراض فإن كلا النوعين من



( شكل ٨٣ )

تداخل مناطق الأكتين والميوسين

الخييطات العضلية لا يحدث تغير في أطوالهما ولكن الذي يحدث هو إنزلاق لهذه الخييطات . وبعبارة أخرى فإن العضلة تنقبض بانزلاق الخييطات الرفيعة ( الأكتين ) بين الخييطات السميكة ( الميوسين ) وعندما يكون الإنقباض قويا بدرجة كافية فإن الخييطات الرفيعة يتقابلان معا . وقد تظهر أيضا مناطق داكنة نتيجة تراكب الخييطات في هذه الحالة ( انقلاب الخيوط overlapping of filaments ) .

## التركيب البروتيني للبيفات العضلية : Structural proteins of the myofibrils

دلت الدراسات الحديثة على أن التراكيب الانتقاضية للبيفات العضلية تتكون تقريبا من بروتينات فقط . ويقدر أن ٩٠٪ من البروتينات عبارة عن ميوسين myosin ( بروتين ليفي

Fibrous protein ) واكتين ( بروتين كرى Globular protein ) . ويمكن فصل كل منهما وتنقيته بوسائل خاصة . ويكون الميوسين حوالى نصف البروتين الكلى ، ويمكن استخلاصه من الليفات العضلية بحاليل ملحية خاصة . وبذلك يبقى لدينا الأكتين كما هو .

ومن المعروف أن للميوسين القدرة على تفكيك مادة الأدينوزين ثلاثى الفوسفات ATP ، وأن الاكتين يرتبط بمادة الأدينونين ثلاثى الفوسفات هذه او مشتقاتها .

وقد لوحظ أنه عند وضع هاتين المادتين البروتينيتين معا فى أنبوبة اختبار فانهما يكونا مركب يسمى " اکتوميوسين actomysin " له القدرة على الإنقباض فى وجود مادة أدينوزين ثلاثى الفوسفات . وتوضح هذه التجربة أن التفاعل بين الميوسين والأكتين ضرورى لحدوث الإنقباض . وقد وجد أن الخيوط السميكة ( ١٠٠ أنجستروم ) تتكون من الميوسين بينما تتكون الخيوط الرفيعة ( ٦٠ أنجستروم ) تتكون من اکتين ( يتصل به طراز آخر من البروتين يسمى تروبوميوسين tropomyosin ) ، كما وجد أن التفاعل الذى يشاهد بين الميوسين والأكتين فى أنبوبة الإختبار يحدث فى الطبيعة بين خيوط الميوسين ( السميكة ) وخيوط الأكتين ( الرفيعة ) ، ويمكن القول أن التفاعل بين مجموعتى الخيوط هو المسئول عن عملية الإنقباض بصورة أساسية .

ويعتقد أن هذا التفاعل يحدث عن طريق وصلات عرضية يمثل كل منها جزيئا واحدا من اليومسين ، ويمكن لهذه الوصلات أن تتحرك لتمسك بأماكن محددة على جزيئ الأكتين .

وبهذه الطريقة فإن قوة دفع لمسافة ١٠٠ أنجستروم تتولد قبل أن ترجع الوصلات إلى مكانها الأسمى ويلاحظ تحرر مجموعة فوسفات مع كل دورة .

ومن الواضح أن العضلات تعطينا نموذجا طبييا لتكامل التركيب مع الوظيفة وارتباطهما معا فى النواحي البيولوجية .

الشبكة الاندوبلازمية العضلية Sarcoplasmic reticulum :

تمتد الشبكة الاندوبلازمية العضلية فى الستوبلازم العضلى المسمى ساركوبلازم ، ولا توجد على هذه الشبكة الغشائية أية ريبوسومات ومن ثم تعتبر شبكة اندوبلازمية ناعمة أو ملساء، ويحتوى السيتوبلازم العضلى أيضا على ميتوكوندريا وجهاز جولجى

و قليل من الريبوسومات الحرة ، كما يحتوى على حبيبات جليكوجين تعتبر مخزنا للطاقة .

وتتميز الشبكة الاندوبلازمية العضلية إلى أنيبيبات طولية متوازية فى المنطقة . وعندما تلتقى معا فى المنطقة تكون أكياس يطلق عليها " الأكياس الإنتهائية " كما أنها تلتقى معا فى تركيب متشابك عند الخط . ويلاحظ امتداد أنيبيبات عرضية مستقلة عند الخط Z ، وهذه الأنبيبيبات العرضية على اتصال بغشاء الليفة العضلية ، بحيث يمكن اعتبار تجويف الأنبيبيبة العرضية حيزا خارج خلوى .

وعندما يستثار عصب العضلة ، تنتشر موجة عدم استقطاب عبر غشاء الليفة العضلية ومنه إلى غشاء الأنبيبيبات العرضية وبالتالي تمتد الموجة إلى أعماق الخلية العضلية ويؤثر ذلك على الأكياس الإنتهائية المجاورة للأنبيبيبات العرضية مما يخلق موجة عدم استقطاب على سطح الشبكة الاندوبلازمية كلها ، وينطلق الكالسيوم تبعاً لذلك من على هذه الشبكة إلى السيتوبلازم العضلى ليعتلق بمادة التروبونين مما يهين للخطوات التالية فى عملية الإنقباض العضلى .

### وظيفة الشبكة الاندوبلازمية العضلية :

#### The role of the sarcoplasmic reticulum

تقوم الشبكة الاندوبلازمية العضلية بنقل السيالات الحسية المحفزة داخل الخلايا العضلية . وقد أشار البعض إلى أن أغشية الشبكة الاندوبلازمية العضلية تعمل على إيجاد وسطين مختلفين داخل الخلية وأن هذا الغشاء مستقطب كهربيا مثله فى ذلك مثل الغشاء الخلوى لليفة العضلية وبهذا يكون لأغشية الشبكة الاندوبلازمية العضلية القدرة على نقل السيالات داخل الخلية العضلية بعرض استثارة الوحدات الانقباضية . وقد وجد أيضا أن الشبكة الاندوبلازمية العضلية تحوى العامل الانبساطى الذى يثبت نشاط انزيم ادينوزين ثلاثى فوسفات ATP الواقع فى اللييفات العضلية مما يسبب انبساطها بعد انقباضها . وما يذكر أن لدى أغشية الشبكة الاندوبلازمية العضلية القدرة على تثبيت أيونات الكالسيوم الضرورية للنشاط العضلى .





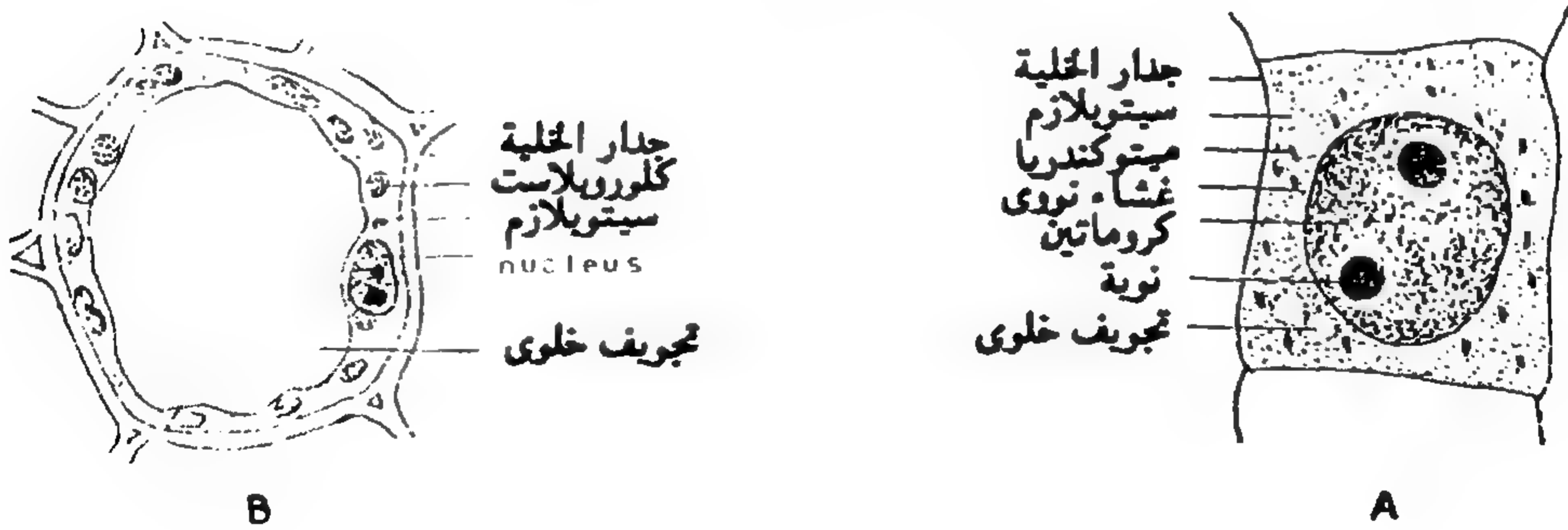
## الفصل الثالث عشر

### الخلية النباتية THE PLANT CELL

الخلايا سواء كانت نباتية أو حيوانية ، أو كائنات وحيدة الخلية فانها تتميز جميعها ببنية أساسية واحدة . فمثلا البكتيريا وبعض الطحالب الخضراء - المزرقه ( التي تعتبر حديثا نوعا من أنواع البكتيريا ) كان من المعتقد أنها لا تحتوى على أنوية إلا أنه قد وجد أن بها تراكيب مكافئة للنواة وتقوم بكل وظائفها .

وتتلخص الاختلافات الرئيسية بين الخلايا الحيوانية والخلايا النباتية فى أن الخلايا النباتية تحتوى على بلاستيدات PLASTIDS أهمها البلاستيدات الخضراء ، كما أن لها جدار خلوى يغطى غشاء الخلية البلازمى، وبها فجوة عصارية كبيرة أو عدة فجوات داخل السيتوبلازم . كما أنها فى كثير من الأحيان لا تحتوى على الجسم المركزى الذى يتواجد فى الخلايا الحيوانية . وعند تكوين الخلايا البنوية الناتجة عن الانقسام الميتوزى فإن الجدار المتكون بينهما يتكون من الإفرازات الناتجة من جهاز جولجى والتي تترسب داخل السيتوبلازم فاصلة نواتى الخليتين البنويتين عن بعضهما .

وتعتبر البلاستيدات الخضراء من اكثر العضيات الخلوية انتشارا فى الخلايا النباتية ، وتوجد هذه العضيات مدفونة فى سيتوبلازم صاف رائق ، ويظهر على حواف الخلية أو على هيئة أشربة سيتوبلازمية تمر خلال الفجوة العصارية المركزية للخلية .



(شكل ٨٤)

(B) خلية برنشيمية من ورقة نبات

(A) خلية مرستيمية من جنر البصل

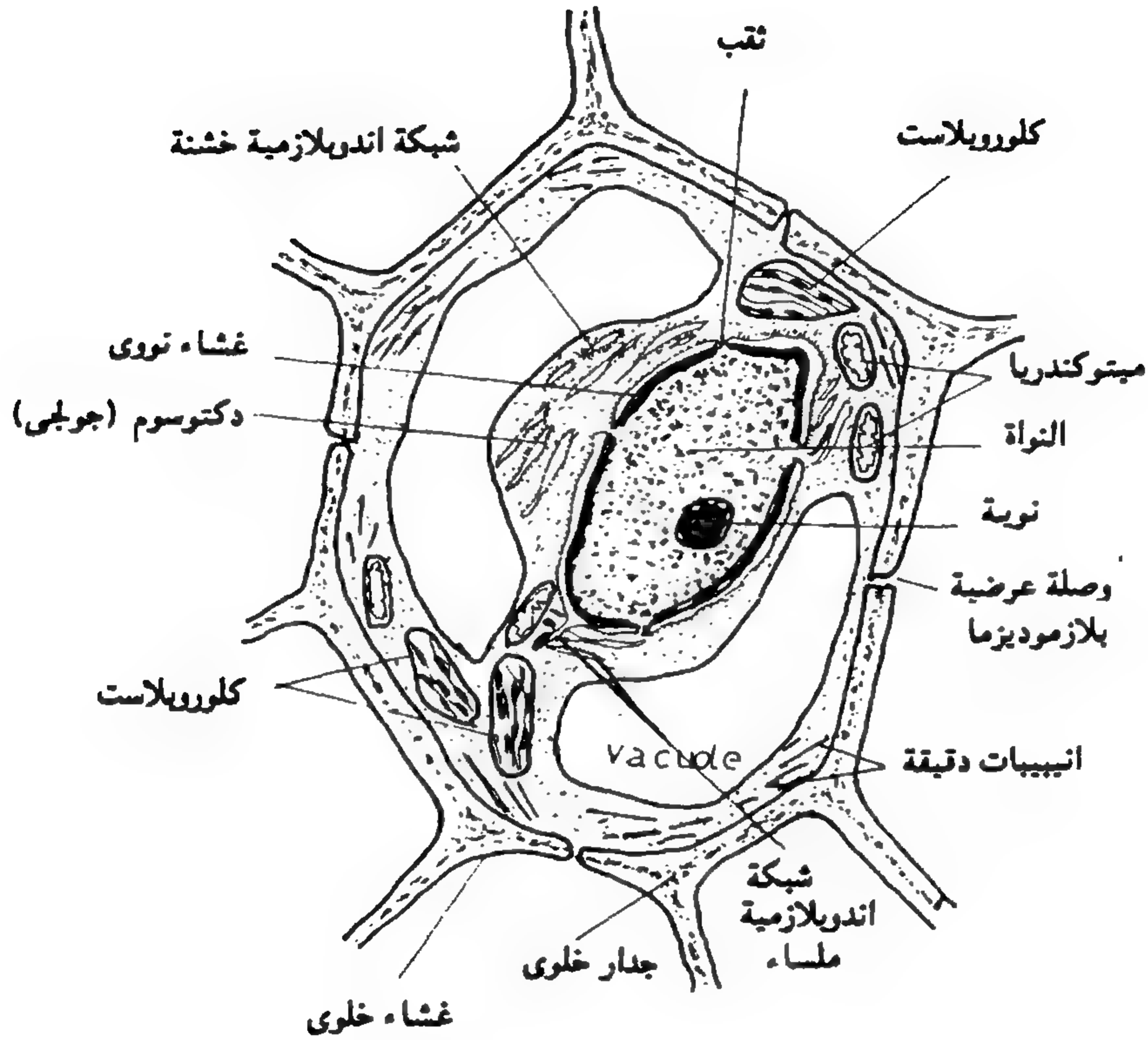
ويعتبر الماء هو المكون الرئيسى لمحتويات الفجوات العصارية داخل الخلايا النباتية مذابا به الغازات الجوية ، وأملاح ، وسكريات ، وأحماض عضوية ، وبروتينات ذائبة وبعض الحبيبات الصبغية . ويتكون اللون الأحمر فى كثير من الأزهار نتيجة لترسيب صبغيات معينة فى فجوات خلايا بتلات هذه الأزهار . وفى هذه الحالة تكون معظم الصبغيات المألوفة هى الأنثوسيانين Anthocyanine وحبيبات الأنثوسيانين هذه هى مصدر اللون الأحمر والأزرق والبنفسجى والتى تظهر فى فصل الخريف فى الأوراق ، والأزهار والفاكهة ، والسيقان النباتية .

وتتميز أسطح التلامس بين سيتوبلازم الخلية والفجوات وبين السيتوبلازم وجدار الخلية ، بوجود أغشية سيتوبلازمية خاصة تقوم بالتحكم فى مرور المواد من وإلى السيتوبلازم . وهذه الأغشية السيتوبلازمية غير منظورة وبصعب رؤيتها بالميكروسكوب الضوئى ، ولكن بسبب نشاطات هذه الأغشية فإنه يمكن تمييزها فى بعض الحالات . ويعرف الغشاء الذى يفصل بين السيتوبلازم والفجوات السيتوبلازمية باسم التونوبلاست tonoplast أما ذلك الغشاء الذى يحد السطح الخارجى للسيتوبلازم فيعرف باسم غشاء الخلية Plasma Lemma . وعند فحص خلية نباتية حية بالميكروسكوب الضوئى فإن السيتوبلازم يبدو فى حركة دوران مستمرة وسريعة ، وقد تلاحظ الميتوكوندريا ، أو الكلوروبلاست أو المكونات الخلوية الأخرى تتحرك مع السيتوبلازم . ويوضح الفحص الجيد للخلية النباتية تواجد جزيئات صغيرة كرية الشكل تتحرك حركة سريعة جدا داخل الخلية ، وهذه الجزيئات هى الأسفيروسومات ( الأجسام الكرية ) spherosomes التى قلما تحفظ فى تحضير مثبت . ومن المعتقد بأن هذه الأسفيروسومات تتكون من الشبكة الإندوبلازمية . وفى هذه الحالة تنشأ الأجسام الكرية غير الناضجة immature كبروزات من أنابيب شبيهة بالشبكة الإندوبلازمية ثم تكبر هذه الأجسام الدقيقة وتزداد فى الحجم لتعطى الأسفيروسومات الموجودة فى كثير من الخلايا . وتستمر هذه الزيادة فى الحجم إلى أن يتكون جسم دهنى .

ويمكن أن نستخلص من ذلك أن الأسفيروسومات تكون تركيبيا مميزا فى الخلية له علاقة خاصة بإنتاج وتخزين الدهون فى الخلية ، ولكن الوظيفة الأكيدة والأساسية للأسفيروسومات غير معروفة بالضبط ، كما وأن الأسفيروسومات تحاط من الخارج بغشاء ذو طبقة تركيبية واحدة .



وتحتوى الخلية النباتية على نواة واحدة منغمسة فى الستوبلازم وأحيانا تظهر النواة مفلطحة وملامسة لجدار الخلية . وعادة تظهر النويات بوضوح فى الخلايا النباتية الحية .



(شكل ٨٥)  
خلية نباتية بالميكروسكوب الإلكتروني

ويسهل فى الخلايا النباتية المثبتة والمصبوغة رؤية جدر الخلايا ، الكلوروبلاستيدات ، الميتوكوندريا الأجسام الدقيقة وأجسام جولجى . كما توجد كتل من المادة الكروماتينية داخل النواة . كما يوجد فى جدار الخلايا النباتية ممرات تعرف بالنقر Plasmodesmata ، تصل الخلايا المتجاورة ببعضها البعض رغم وجود الجدار الخلوى السميك .

## التركيب الدقيق للخلية النباتية Ultrastructure of the plant cell

من الطبيعي عند دراسة الخلية النباتية أن تقسم هذه الوحدة الأساسية الى نواة ، كلوروبلاست ميتوكوندريا ، شبكة إندوبلازمية ، أجسام جولجي ، المادة الخلالية الأساسية للسيتوبلازم ، والتونوبلاست . وكل من هذه العضيات الخلوية له وظيفة مختلفة عن الآخر داخل نفس الخلية . ويحيط بكل عضي خلوى أحد الأغشية شبه المنفذة والتي تتكون من مركب ليبوبروتين ( دهنى بروتين ) معقد . ويقوم غشاء كل عضية بحمايتها من العضيات الدقيقة الأخرى الموجودة معها فى نفس الخلية . وعلى الرغم من أن هذه الأغشية تحافظ على نشاط كل عضية ، إلا أنها تسمح باتصال وتبادل نواتج الأيض مع الوسط المحيط بها .

وقد وجد أن جميع الأغشية الخلوية تتكون من مجموعتين رئيسيتين من المركبات هما الدهون ( الليبدات ) والبروتينات.

وهناك عدد كبير من الأدلة التى تؤيد النظرية القائلة بأن الدهون والبروتينات تتحد وترتبط معا لتكون جميع الأغشية الحيوانية . وسواء كان هذا الغشاء الخلوى فى خلية نباتية أو حيوانية أو يحيط بالخلية كلها أو جزء منها ، فإن التركيب النموذجى وأبعاد الغشاء الخلوى تكون متشابهة الى حد ما . وتوجد الأغشية الخلوية فى الخلايا النباتية بنسبة أقل مما هى موجودة فى الخلايا الحيوانية ويرجع ذلك إلى انضغاط مادة السيتوبلازم نتيجة لظهور فجوات ضخمة أثناء نمو وتميز الخلايا النباتية . وتحديد بها بشرط سيتوبلازمى ضيق على حواف الخلية .

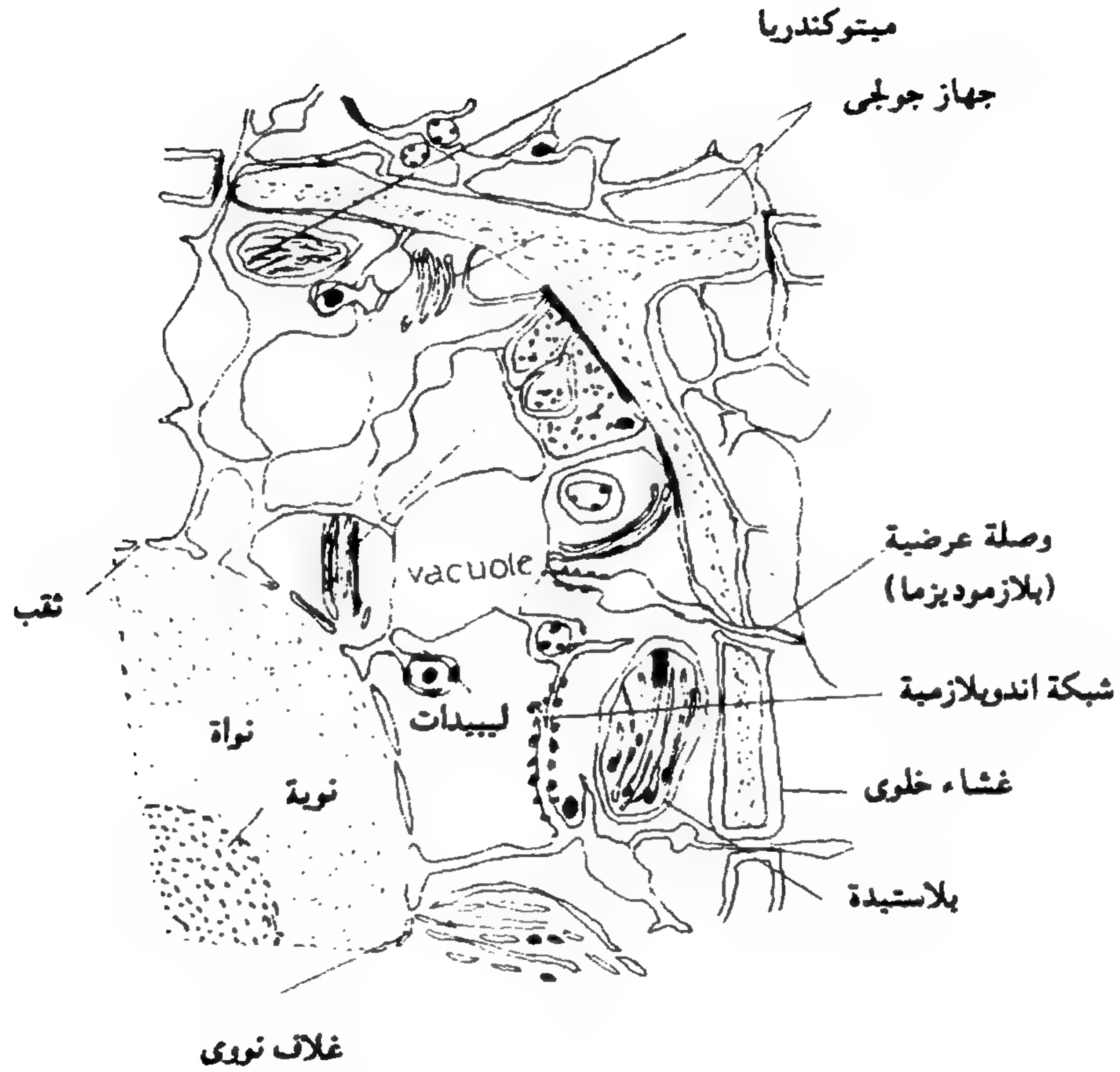
غشاء الخلية : The plasma membrane

يقوم غشاء الخلية النباتية Plasma Lemma باحتواء وفصل الجزء الحى من الخلية Protoplast عن جدار الخلية الخارجى .

ويوجد فى الخلايا النباتية عادة نظام رئيسى أثناء عملية الأيض للتحكم فى الفرق بين الترنيزات للأملاح غير العضوية والمواد خارج وداخل الخلية .

ويختلف التركيب الكيميائى لغشاء الخلية كذلك وجميع الأغشية الخلوية فى الخلايا النباتية عن تراكيب معظم الأغشية الخلوية الحيوانية ، وفى الأغشية الأخيرة تتركب الليبيدات

بصفة أساسية من الكولسترول والفسفوليبيدات ، بينما تتكون ليبيدات الأغشية الخلوية النباتية من فسفوليبيدات ( أساسا ليسيسين وجليكوليبيدات ) والاسترولات ( تتكون من Sterol -B- sistosterol spinosterol ) والجزء البروتيني في الأغشية الخلوية النباتية فانه يتكون من عدد كبير من الوحدات البروتينية .

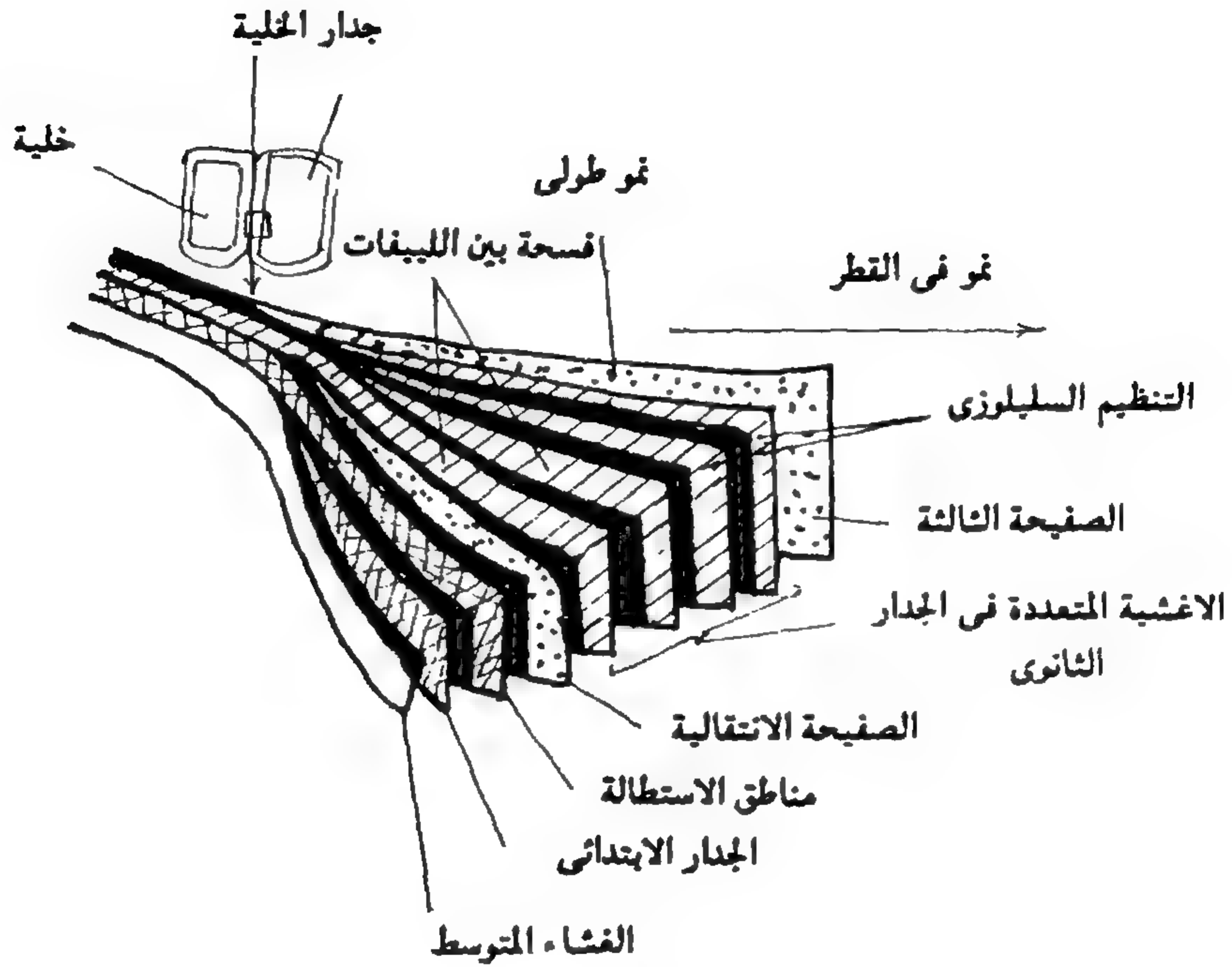


(شكل ٨٦)  
خلية نباتية بالميكروسكوب الإلكتروني

وتوضح صور الميكروسكوب الإلكتروني للخلايا النباتية أن الأغشية الخلوية تتبع نفس البنيان الأساسي للأغشية الحية . ويتكون كل غشاء من هذه الأغشية من خط مضيق لامع



يقع بين خطين داكنين . ويعتقد بأن هذه الأغشية تتكون من طبقة مركزية ثنائية من الليبيدات محصورة بين طبقتين أحاديتين من البروتين .



(شكل ٨٧)

شكل يوضح الطبقات المختلفة في جدار خلية نباتية

#### جدار الخلايا : Cell walls

يحد الخلية النباتية من الخارج جدار واضح المعالم ، وهو تركيب غير حي ينتج من مادة البروتوبلاست الحية . وباستثناء بعض الحالات فإن معظم الخلايا النباتية لها جدر سميكة أو رقيقة أو منحوتة Sculptured ويعتقد بأن وظيفة هذه الجدر هي حماية وتدعيم الخلية كما أنها تحافظ على شكل وتماسك الخلايا النباتية . ويتكون جدار الخلية أساسا من مادة السيليلوز

Cellulose وهى مادة عديدة التسكر تتكون من وحدات مترابطة من الجلوكوز ( تنتج فى الخلية ويوجد فى بعض النباتات - وخصوصا عديدة الخلايا - جدر ثانوية تتميز بتجويفات أو انخفاضات تعرف بالنقر Pits وتحتوى الخلايا ذات الجدر الأولية على نقر أولية Primary pits وتظهر هذه النقر عندما يكون تكوين جدار الخلية غير متجانس وتقوم هذه النقر بتسهيل مرور المواد من خلية إلى أخرى .

وتوجد النقر عادة فى الخلايا النباتية غير الحية والتي تلعب دورا فى عمليتى التوصيل والتدعيم فى النباتات كالألياف والقسيبات . وفى بعض الأحيان ينمو من جدار الخلية تغلظ فوق النقرة وفى هذه الحالة تعرف النقرة بالنقرة المصفوفة ( bordered pits ) المحفوفة وعند غياب هذا النوع من التغلظ الذى يحيط بالنقرة فانها تكون من النوع البسيط . وباستعمال طرق خاصة بصباغة الأنسجة النباتية فإن كثيرا من النقر تظهر فتحات فى غشاء الخلية ( وصلات عرضية ) والتي عن طريقها تمتد أشربة سيتوبلازمية رقيقة لتصل الخلايا المجاورة بعضها البعض . وتعرف هذه الامتدادات أو البروزات السيتوبلازمية بالبلازمودزماتا Plasmodesmata . كذلك توجد انبيوبات دقيقة داخل البلازمودزماتا تتصل اتصالا مباشرا بصهاريج وتجويفات الشبكة الإندوبلازمية لخليتين متجاورتين . واعتمادا على نمو وشكل الخلية النباتية فإن جدار الخلية يتكون من ثلاث مناطق رئيسية واضحة ومتميزة هى مادة بين خلوية تعرف باسم الصفيحة الوسطى ، وجدار الخلية الأولى وجدار الخلية الثانوى .

#### أ - الصفيحة الوسطى The middle lamella :

وهى طبقة رقيقة من مادة بين خلوية تتكون بين خليتين متجاورتين أثناء عملية انقسام الخلايا النباتية . وتتركب الصفيحة الوسطى من الهكتين Pectin ، والكالسيوم ، والسيليلوز ، ومواد أخرى مبلعمة . ويسبب كثافة وصلابة الهكتين فإن الصفيحة الوسطى تظهر كمادة جيلاتينية لزجة . وفى الأنسجة الخشبية تكون الصفيحة الوسطى شديدة التلجن ( بها وفرة من مادة اللجنين lignin ) ، وتعمل هذه الصفيحة فى الأنسجة النباتية كمادة بين خلوية اسمنتية لربط جدر الخلايا بعضها البعض لتكوين الأنسجة ولذلك فهى توجد بين الجدران الابتدائية للخلايا المتجاورة .

## ب - الجدار الأولى للخلية The primary cell wall :

ويوجد هذا الجدار فى جميع الخلايا النباتية ، ويتكون من الترسيبات والاقراصات الأولية للبروتوبلاست على غشاء الخلية ، ويعتبر أول جدار خلوى حقيقى يتكون أثناء المراحل المبكرة لنمو وتكوين الخلية . وهو رقيق نوعا ما ومرن وقابل للشد والتمدد مع زيادة حجم الخلية ، ويتراوح سمك الجدار الأولى من ١ - ٣ ميكرون ويتركب من مادة البكتين مع مواد شبيهة السيليلوز والسيليلوز ومواد عديدة التسكر أخرى غير سيليلوزية . ويظهر الجدار الأولى للخلية بوضوح فى الخلايا الانتشائية وهو خال من النقر والتغلظات غير المنتظمة ما عدا فى حالة وجود البلازموديماتا Plasmodesmata . ويسبب التجانس الشديد لهذا الجدار فإنه يصعب فى بعض الأحيان التمييز بين جدار الخلية الأولى والصفحة الوسطى ولذلك يطلق عليهم مجتمعين الجدار الأولى .

## ج - الجدار الثانوى The secondary wall :

يظهر الجدار الثانوى مع زيادة نمو الخلية وتوقف الجدار الأولى عن الإلتساع فى مساحة السطح ، وتكون الخلية فى هذا الوقت قد توقفت عن النمو ، وفى كثير من الخلايا تموت المحتويات الحية فى الخلية وتختفى بعد تكوين الجدار الثانوى . يتبع هذا الجدار الاخير من زيادة ترسيبات المواد المتكونة من البروتوبلاست . ويتركب الجدار الثانوى من السيليلوز وشبيهات السيليلوز ومواد رسوبية أخرى تعمل على زيادة سمك الجدار وكذلك مثل الجنين ، والسوبرين ، والكيوتين ، وشمع الكيوتين . وفى كثير من الفطريات والخمائر ، يتركب جدار الخلية الثانوى من الكيتين chitin . ويقترن وجود الجدار الثانوى بالخلايا التى تفقد الحياة بعد اكتمال نضجها كالألياف والخلايا الصخرية .

ويتركب الجدار الأولى للخلية من ليفيات سيليلوزية منتشرة فى عدة اتجاهات ، أما الجدار الثانوى فإنه يتركب من ليفيات سيليلوزية كثيفة ومتوازية ومضغوطة مع بعضها اكثر من مثيلاتها بالجدار الأولى (Muhlethaler, 1961) ، ومعنى آخر فإن الجدار الثانوى يتكون من عدة طبقات متميزة ، وأن ليفيات كل طبقة تكون متوازية ولكن ليفيات الجدار الأولى تكون موجهة بزاوية مع بعضها البعض . ويبدأ تكوين الجدار الثانوى من السطح الداخلى للجدار الابتدائى ، ويتكون الجدار الثانوى من ثلاث طبقات : الأولى وهى الخارجية ، والثالثة



وهى الطبقة الداخلية الملاصقة للجدار الأولى ، وطبقة متوسطة . ويسمى هذا النوع بالنمو نحو المركز Centripetal . وقد يكون التغلظ فى الجدار الثانوى متجانسا أو غير متجانس ، ونظرا لأن هذا الجدار سميك فانه يحتوى على نقر تسمح باتصال بروتوبلازم الخلايا النباتية المتجاورة ، وكذلك تبادل المواد بينها ، وفى بعض الأحيان يوجد جدار ثالث رقيق للخلية النباتية .

### مادة السيتوبلازم والشبكة الإندوبلازمية :

The cytoplasmic matrix and endoplasmic reticulum

تحتوى الخلايا النباتية الإنشائية والإبتدائية على سيتوبلازم وكميات قليلة من الأغشية الخلوية . وقد يكون من الصعب رؤية أو مشاهدة هذه الأغشية لأنها مغطاة بكميات هائلة من الريبوسومات وتظهر هذه العضيات حرة أو منفردة فى السيتوبلازم . ولقد أمكن باستعمال مثبت الجلوترالدريد Glutraldehyde . مشاهدة جهاز من الانبيوبات فى السيتوبلازم يبلغ متوسط محيطها حوالى ٢٥٠ أنجسترون وتمتد لعدة ميكرونات . ومن المحتمل أن تلعب هذه الانبيوبات دورا ما فى تكوين جدار الخلية .

ويمكن مشاهدة الشبكة الإندوبلازمية المحببة وغير المحببة فى الخلايا النباتية المتميزة differentiated وتبدو الشبكة الإندوبلازمية غير المحببة واكثر شيوعا فى الخلايا المرتبطة بانتاج الإسترويدات التى تلعب دورا معينا فى أيض المواد الكربوهيدراتية وتقل الايونات كما هو الحال فى العناصر الغريالية والخلايا المرافقة للحاء .

وتشاهد هذه الشبكة الإندوبلازمية بوضوح فى البلازمودزماتا . أما الشبكة الإندوبلازمية المحببة فإنها تكون تامة التكوين وواضحة جدا فى الخلايا المنتجة للمواد البروتينية كما هو الحال فى الشعيرات الغدية لأوراق بعض النباتات .

وعند بداية تكوين الأوراق يمكن رؤية الشبكة الإندوبلازمية المحببة وغير المحببة ، ولكن بعد تميز الخلايا تظهر كميات قليلة من الريبوسومات وتحتوى عناصر الشبكة الإندوبلازمية غير المحببة على تجويفات ممتلئة بمحلول معين ، كما وأنها تحتل مساحات كبيرة من السيتوبلازم وتتشابه وظيفة الشبكة الإندوبلازمية فى كل من الحيوان والنبات .

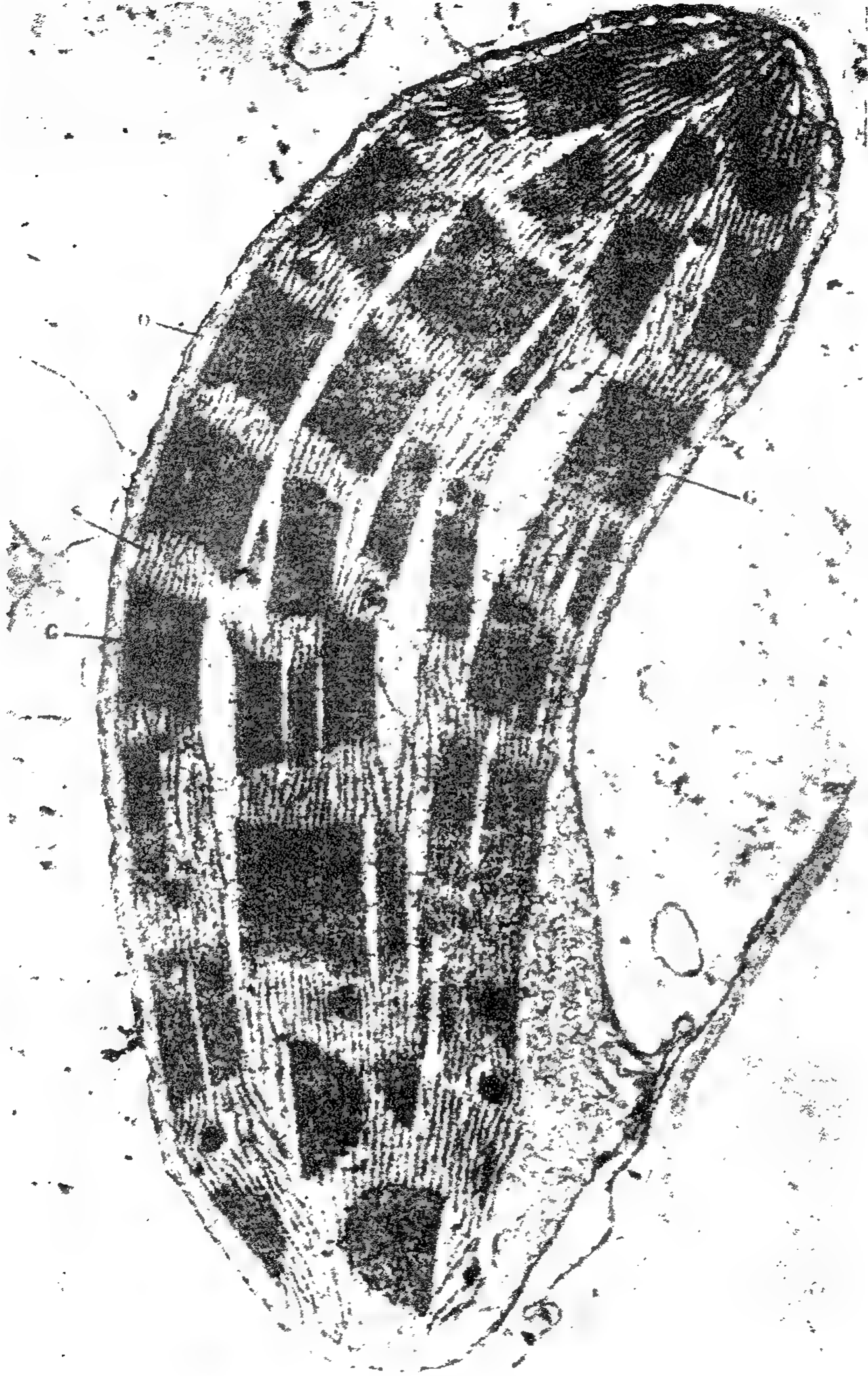
## جهاز جولجى Golgi apparatus :

أوضح استعمال الميكروسكوب الالكترونى العديد من مكونات الخلية النباتية التى لم يكن من المتيسر رؤيتها بالميكروسكوب الضوئى باستعمال الصبغات الخاصة بها . وقد كشف الميكروسكوب الالكترونى عن وجود جهاز جولجى فى الخلايا النباتية فى صورة أجسام هلالية أو مقوسة مقوية تعرف بالدكتيوسومات dictyosomes وتشبه أجسام جولجى هذه مثيلاتها فى الخلايا العصبية للحيوانات اللافقارية والخلايا الجرثومية التناسلية وتختلف عن أجسام جولجى فى الخلايا الجسدية للفقاريات وتنتشر دكتيوسومات جولجى هذه أو الجولجيوسومات فى السيتوبلازم ولا توجد فى مكان محدد منه كما هو الحال فى الخلايا الطلائية الحيوانية مثلا . وتتركب الدكتيوسومات من عصيات صغيرة مقوسة ذات صهاريج أو انتفاضات مفلطحة Cisternae ، والتى تتسع من طرفيها كما هو الحال فى دكتيوسومات اللافقاريات . وتبرز من هذه الصهاريج حويصلات vesicles صغيرة حاملة المواد الإفرازية المنتجة من أجسام جولجى . وهذه الحويصلات هى التى تتجمع فى منطقة الصفيحة الوسطى فى المرحلة النهائية للانقسام الميتوزى وتكون صفيحة الخلية التى تفصل بين نواتى الخليتين البنويتين الناتجتين . وهناك العديد من الأدلة التى تبرهن على الدور المهم للدكتيوسومات فى تكوين المواد الإفرازية بالخلية وكذلك تكوين صفيحة الخلية والأغشية الخلوية المختلفة فى الخلية النباتية . وقد وجد أن الدكتيوسومات تحتوى على بعض الإنزيمات مثل بيروفوسفاتيز الثيامين Thiamine pyrophosphatase وثنائى فوسفاتيز الأدينوزين adenosine diphosphate .

## الميتوكوندريا The mitochondria :

يتشابه تركيب الميتوكوندريا فى كل من النبات والحيوان ، ولكن الاختلاف الوحيد فى أن ميتوكوندريا الخلايا النباتية تحتوى على حواجز وزوائد Cristae قليلة من الغشاء الداخلى ومادتها الداخلية اكبر من تلك الموجودة فى الخلايا الحيوانية. أما الخلايا النباتية التى تقوم بعملية التمثيل الضوئى أو الكلوروفيللى فإنها تحتوى على ميتوكوندريا ذات حواجز داخلية أكثر من تلك الموجودة فى الخلايا النباتية الأخرى .





(شكل ٨٨)

كلوروبلاست ( بلاستيدة ) فى خلية من اوراق الخنطة قمثل :  
(G) جرانا (S) ستروما ( حشوة ) بين الجرانا



## البلاستيدات The plastids :

البلاستيدات هي نوع من عضيات الخلية النباتية الموجودة في السيتوبلازم والتي لها علاقة وطيدة بعمليات الأيض. وتعتبر البلاستيدات وجدر الخلايا من التراكيب المميزة للخلايا النباتية . وتوجد البلاستيدات في جميع النباتات ما عدا البكتيريا وبعض الطحالب والفطريات . وللبلاستيدات أشكالاً مختلفة فمنها المسطح والقرصى والحلزوني وغيرها ، وتحتوى البلاستيدات على حبيبات صبغية ( مثل كلوروفيل والمواد الكاروتينية ) بجانب بعض محتويات أخرى مثل النشا .

## نشأة وتكوين البلاستيدات Origin and development of plastids

يعتقد أن البلاستيدات تنشأ داخل الخلايا النباتية من تراكيب دقيقة واضحة في السيتوبلازم تعرف باسم البلاستيدات الأولية أو البروبلاستيدات Pro-plastids وتوجد البلاستيدات الأولية هذه في الخلايا النباتية البنية والتي تنتقل إليها عن طريق الإنقسام .

وتعتبر البروبلاستيدات عضيات خلوية ذاتية الوجود في الخلية كما أنها تحاط بغشاء خارجي ثنائي Double membran . وفي وجود الضوء ينمو الغشاء الداخلي للبلاستيدة الأولية ويعطى حويصلات صغيرة ترتب نفسها لتكون أقراصاً أكبر حجماً داخل العضية . أما في الظلام فتتكون تراكيب أنبوبية شبكية الترتيب . وعند وضع البروبلاستيدات هذه في الضوء ، فإن الترتيب الشبكي هذا يتغير إلى الشكل الصفائحي المعروف للكلوروبلاستيدة وبذلك تتأثر عملية نمو البلاستيدات بالنقص في الضوء . فعند نمو النبات في ضوء منخفض تتجمع الحويصلات المتكونة في البروبلاستيدات مكونة جسماً واحداً أو أكثر من الأجسام الصفائحية الأولية Pro-lamellar bodies . وفي بعض الأحيان تشكل الحويصلات الناتجة نموذجاً بلوريا مكوناً أنبوبات منتظمة الشكل . وعند تعرض هذه النباتات للضوء مرة أخرى فإن الحويصلات تنمو وتتحد مرة ثانية مكونة الشكل الصفائحي والمعروف بالجُرانا Grana. ويتحكم في النمو الكلي للكلوروبلاستيدة عدد من الجينات التي تقوم بتنظيم تكوين الشكل الصفائحي والبنية الجزئية له .

## انواع البلاستيدات : Types of plastids

### ١ - البلاستيدات البيضاء ( الليكوبلاستيدات leucoplasts ) :

هذه البلاستيدات عديمة اللون توجد عادة في الاوراق النباتية متعددة الألوان والسيقان والجذور والخلايا الجنينية والخلايا التناسلية وفي أجزاء النبات المختلفة غير المعرضة للضوء . وتعمل الليكوبلاستيدات كمنتج للنشا وكمركز تخزيني للبروتينات والدهون . كما أن بعض الليكوبلاستيدات تنتج بعض الزيوت الأساسية .

### (٢) البلاستيدات الملونة ( الكروموبلاستيدات Chromoplasts ) :

يرجع اللون المميز للكروموبلاستيدات إلى وجود مواد مختلفة من الكاروتينات ، واللون النموذجي لها هو الأصفر ، والبرتقالي ، والأحمر وعلى الرغم من أن بعضها قرصي الشكل إلا أن البعض الآخر منها يكون مغزلي أو مثلثي زاوي Angular ، أو كروي أو على هيئة أجسام قضيبية الشكل .

ومن المحتمل أن تكون البلاستيدات الملونة هي نفسها بلاستيدات خضراء اختفى منها الكلوروفيل وأصبح غير سائد كما هو الحال في أوراق فصل الخريف والتي توجد بها الكاروتينات كحبيبات رئيسية سائدة بعد تكسير وتحلل مادة الكلوروفيل في فصل الخريف .

وفي بعض الحالات تنمو الكروموبلاستيدات مباشرة مع البروبلاستيدات ( البلاستيدات الأولية ) . وتحتوي الكروموبلاستيدات على العديد من الحبيبات الصبغية ( الليكوبين ) Lycopene في الطماطم الحمراء وكذلك الفيكوارثرين Phycoerythrin والفيكوسيان Phycocyan في الطحالب .

### (٣) الكلوروبلاستيدات : The chloroplasts

وهي بلاستيدات خضراء يرجع لونها المميز إلى وجود كميات كبيرة من الحبيبات الصبغية الخضراء والمعروفة بالكلوروفيل . وتختلف الكلوروبلاستيدات في الشكل والحجم من نوع إلى آخر ، فمثلا تكون في أوراق النباتات الراقية كروية أو بيضاوية أو قرصية الشكل .

كما وأن الطحالب تحتوي على واحدة أو اثنتين من البلاستيدات الضخمة فنجائية الشكل أو مستطيلة أو حلزونية . وتشغل الكلوروبلاستيدات حوالى ٢٠٪ من حجم الخلايا للأوراق . وقد وجد أن عدد الكلوروبلاستيدات فى الخلية الواحدة من النباتات الراقية يتراوح من ٢٠ الى ٤٠ كلوبلاستيده . وتعتبر الكلوروبلاستيدات من العضيات الكبيرة نسبيا فى الخلايا النباتية حيث يبلغ محيطها من ٤ - ٦ ميكرون ويبلغ سمكها من ٥ الى ١ ميكرون ، وقد وجد أن كلوروبلاستيدات النباتات التى تنمو فى الظلال تكون أكبر حجما وتحتوى على كمية كبيرة من الكلوروفيل أكثر من تلك التى توجد فى النباتات التى تنمو فى ضوء الشمس . ويتحكم فيحجم الكلوروبلاستيدات بعض الصفات الوراثية والجنسية فمثلا كلوروبلاستيدات الخلايا كثيرة العدد الكروموسومى Polyploid تكون أكبر من مثيلاتها الموجودة فى الخلايا زوجية العدد الكروموسومى diploid .

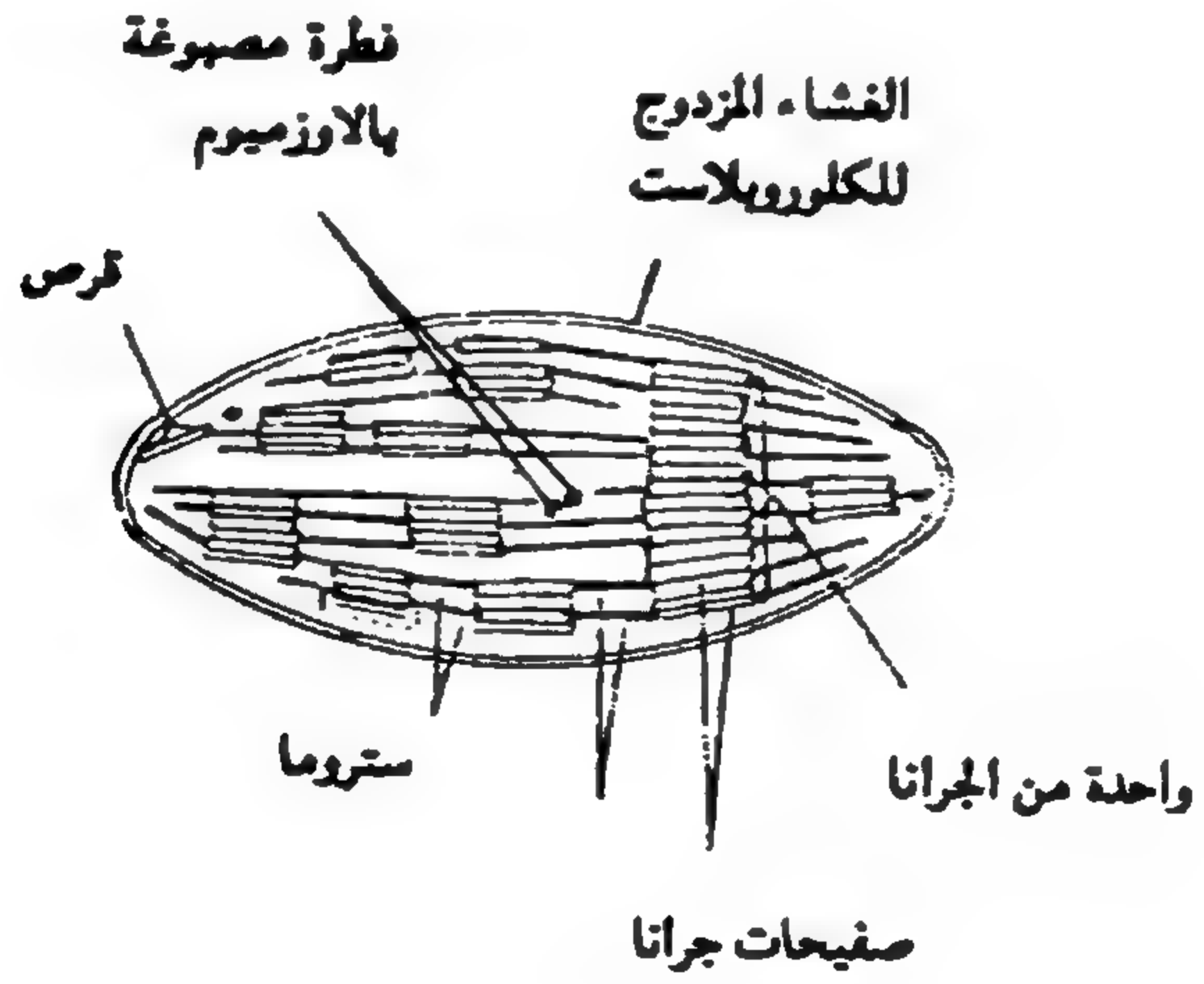
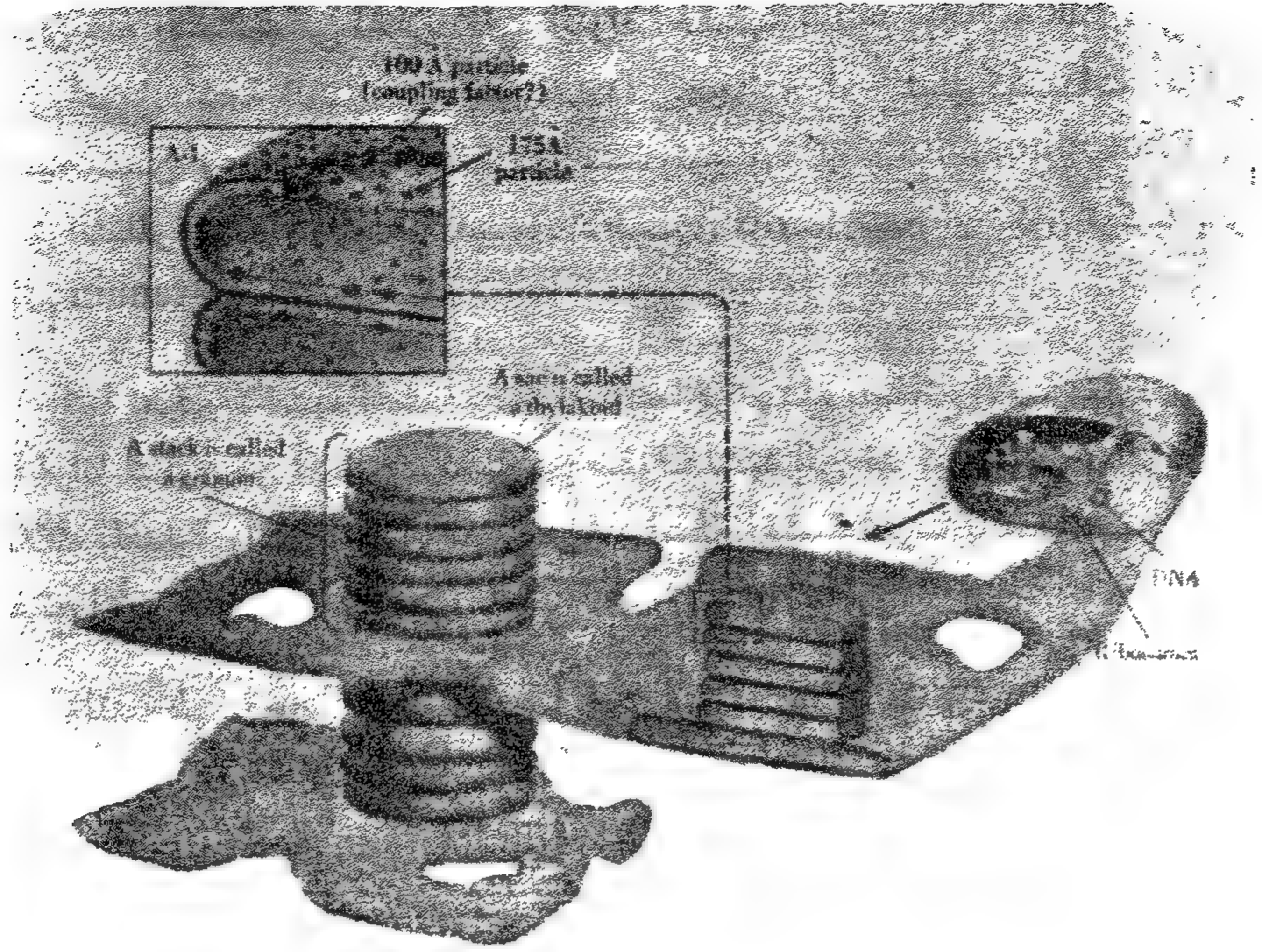
وتوجد الكلوروبلاستيدات أحيانا موزعة توزيعا متساويا أو متجانسا فى السيتوبلازم ، ولكنها غالبا ما تكون كثيفة التواجد بجانب النواة أو ملاصقة للحواف الداخلية للخلية . وعادة يعتمد توزيع الكلوروبلاستيدات داخل الخلية على شدة الضوء المتعرض له النبات . والكلوروبلاستيدات من العضيات ذاتية الوجود فى الخلايا النباتية وتتزايد الكلوروبلاستيدات فى العدد عن طريق الانقسام ويتم ذلك باستطالة البلاستيده فاصلا إياها الى جزئين متساويين . وتتميز الكلوروبلاستيدات بقدرتها العالية على مقاومة التغيرات الأسموزية والمثبتات ، كما وأن لها القدرة العالية على الإختزال ومن صفات هذه العضيات أنها تنتفخ عند وضعها فى الماء المقطر .

#### تركيب الكلوروبلاستيدات : Structure of chloroplastids

عند فحص الخلايا النباتية بالميكروسكوب الضوئى تظهر الكلوروبلاستيدات على هيئة حبيبات دقيقة تسمى بالجمرانا grana . وتوجد هذه الحبيبات مدفونة فى المادة الخلالية للكلوروبلاستيده والتى تسمى الحشوة أو ستروما stroma . ومن ناحية أخرى وجد أنه بفحص هذه العضيات بالميكروسكوب الإلكتروني يتضح أنها تتكون من تراكيب داخلية على درجة عالية من التنظيم والترتيب . ويحد كل كلوروبلاستيده غشاءان : الخارجى منها يشبه إلى حد كبير غشاء الخلية ، أما الغشاء الداخلى فهو يشبه أغشية أو مكونات الجهاز الغشائى للكلوروبلاستيده ذاتها .

وبالإضافة الى الغشاء الخارجى ثنائى التركيب توجد أنظمة غشائية داخلية تتكون من مجموعة من الأكياس المفلطحة والمغلقة تسمى بالصفائح او بالثيلوكيدات Thyllokids .





(شكل ٨٩ )

صورة بالميكروسكوب الالكترونى لتركيب بلاستيدة ( كلوروبلاست ) فى احد النهايات الراقية .

وتحتوى هذه الأغشية فى الخلايا ذات النواة الحقيقية Eucaryotic cells على الكلورفيل وجهاز تحويل أشعة الضوء ، وتمثل هذه الصفائح أو الثيللويدات أماكن وإنتاج الأكسجين وعمليات الفسفرة الضوئية Photophosphorylation . وعندما تلتصق الثيللويدات الواحدة فوق الأخرى فإنها تتيج أو تكون تركيبا يعرف باسم الجرانم granum .

كما نعرف الأغشية المعتدة بين تكلسات الجرانم هذه بصفائح الأستروما . وبعبارة أخرى فإن الجرانم تتكون من أكياس مكسدة فى صفوف تشبه إلى حد كبير أعمدة مكونة من أقراص العملات المعدنية والتي تتصل مع بعضها بواسطة أغشية تعرف بالصفائح بين الجرانم وتمتد الصفائح الأخيرة هذه خلال الإستروما .

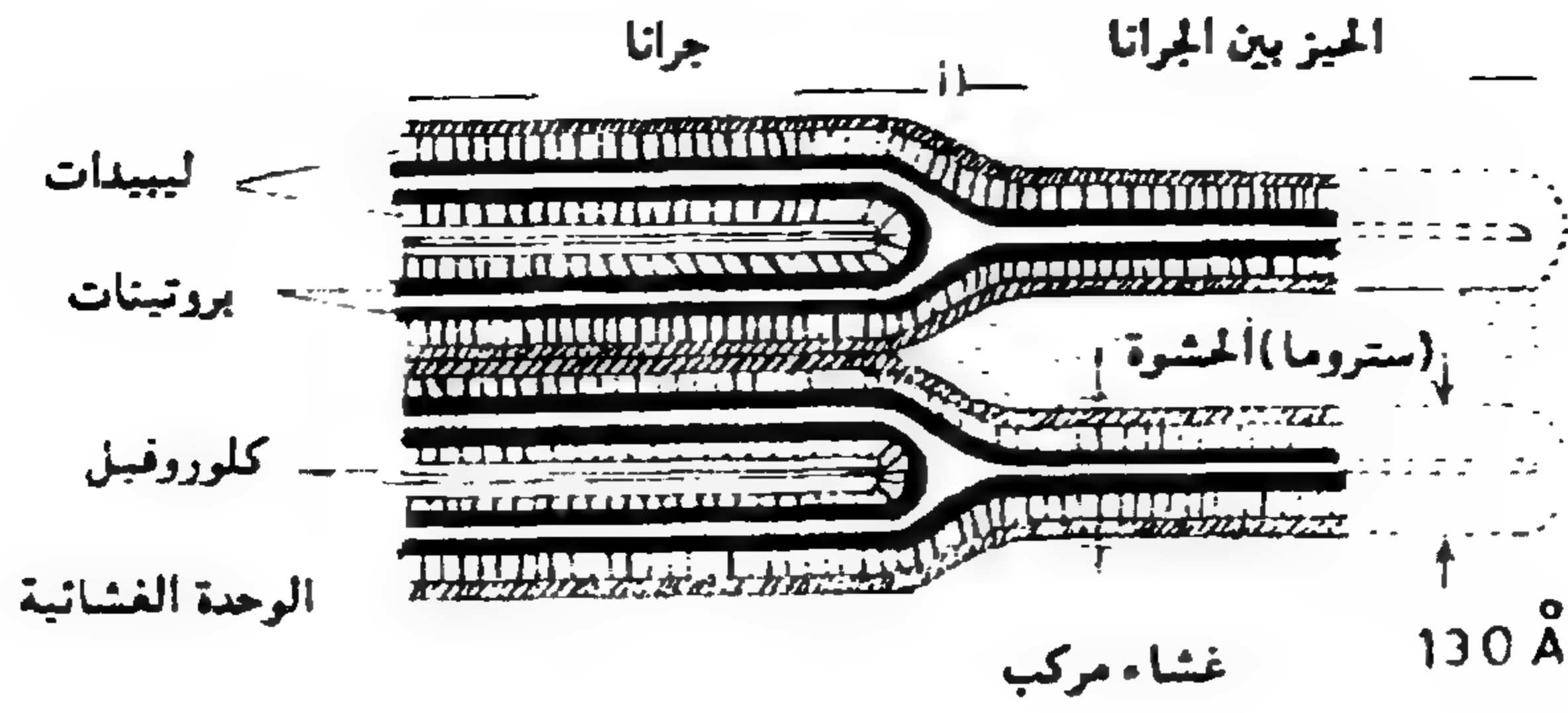
ولقد أظهر فحص أغشية الجرانم تحت قوة تكبير عالية ( حوالى ٣٠٠٠٠ مره ) وجود حبيبات دقيقة جدا على هذه الأغشية وتعرف هذه الحبيبات باسم الكونتاسومات quantasomes ويعتقد بأنها تمثل الوحدات الرئيسية لعملية التمثيل الضوئى فى الخلية ، وتوجد حبيبات الكلوروفيل الصبغية وغيرها من الحبيبات الصبغية الأخرى فى طبقة واحدة بين صفائح الجرانم ، ولقد وجد الباحثون أن كل كونتاسومه تحتوى على حوالى ٢٣٠ جزيئ كلوروفيل .

وتحتوى الأستروما وهو الجزء غير الغشائى بالكلوروبلاستيد على الإنزيمات اللازمة لعملية تثبيت ثانى أكسيد الكربون وتحويله إلى سكر . كما وأنها تحتوى على الريبوسومات التى تلعب دورا هاما فى تكوين وتخليق البروتينات داخل الخلية . وتحتوى الإستروما أيضا على قطرات دهنية وحبيبات نشوية وأجسام بيروكسيدة Pyrenoid bodies والأحماض النووية DNA & RNA وزيادة على ذلك فإن الأستروما تحتوى على بعض السيتوكرومات وفيتامينات ك ، هـ وبعض الدرات المعدنية مثل الحديد والنحاس والمنجنيز والزنك بالإضافة إلى وجود الماغنسيوم فى جزيئ الكلوروفيل .

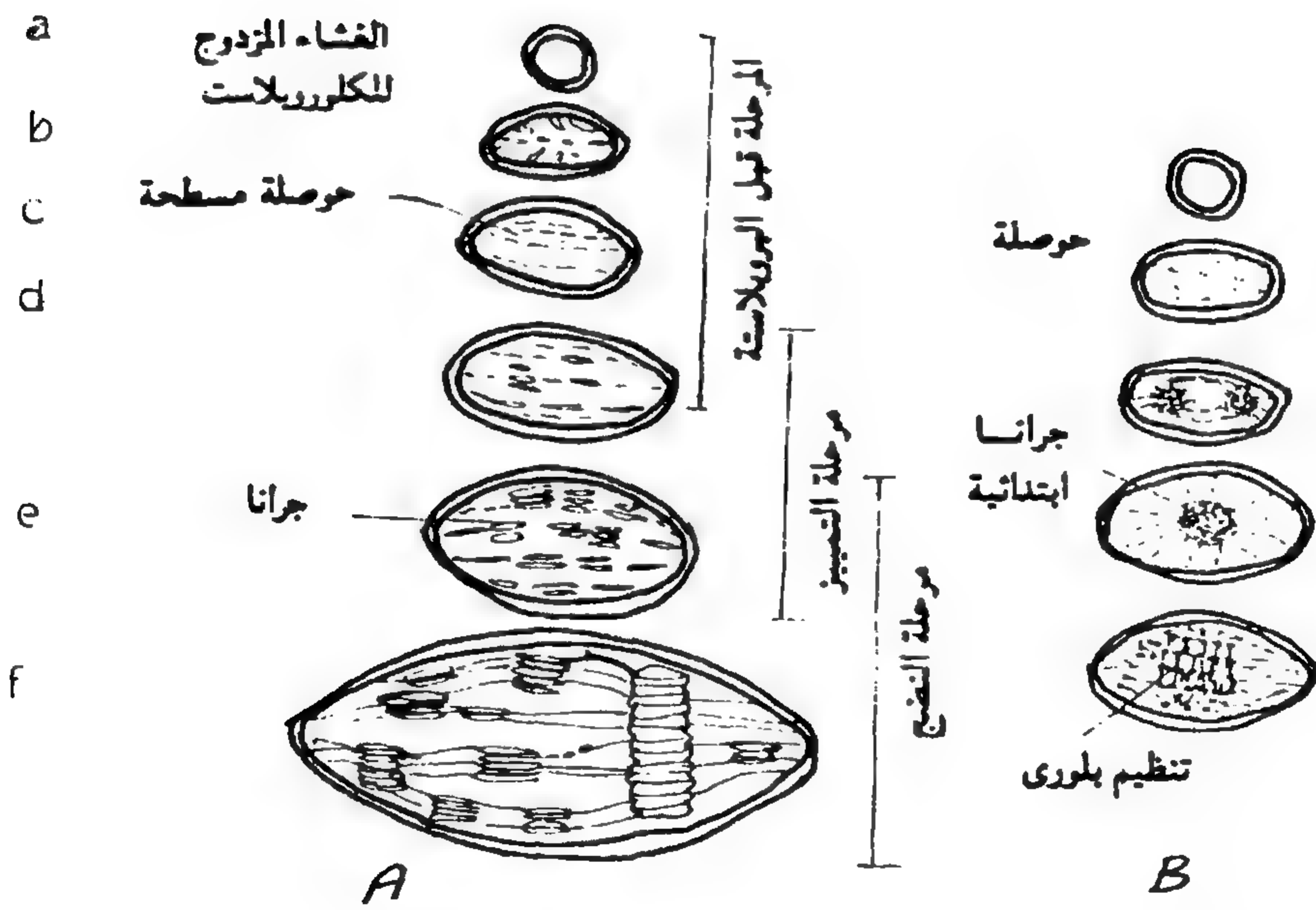
#### وظيفة البلاستيدات الخضراء : Punction of chloroplasts :

تقوم البلاستيدات الخضراء فى ضوء الشمس بتحويل ثانى أكسيد الكربون والماء إلى مواد كربوهيدراتية وأكسجين عن طريق عملية التمثيل الضوئى أو الكلوروفيللى . وتعتبر





(شكل ٩٠)  
التنظيم الجبرني للكلوروبلاست



(شكل ٩١)  
نمو برولاستة



عملية التمثيل الضوئي هذه من أهم العمليات الكيميائية الحيوية الواسعة حيث يتم بواسطتها تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية والمواد الغذائية الناتجة من هذه العملية تستخدمها جميع النباتات والحيوانات في عمليات الأيض أو التحول الغذائي الخاصة بها . ويعنى هذا أن الكلوروفيل في النبات تحول وتختزن الطاقة الضوئية من الشمس إلى طاقة كيميائية في المواد الغذائية . وتحرر هذه الطاقة المختزنة أثناء عمليات الأكسدة التي تتم بواسطة أنزيمات الميتوكوندريا . ويعنى ذلك ان الكلوروفيل يقوم بعملية التمثيل الضوئي في وجود الضوء بينما تقوم الميتوكوندريا بعمليات الأكسدة الفسفورية التي لا تعتمد علي وجود الضوء . ويدل تحرر الأكسجين أثناء عملية التمثيل الضوئي واستعماله أثناء عملية الأكسدة الفسفورية ، على أن العملية الأولى تعتبر مختزنة للطاقة endergonia أما العملية الثانية فهي منتجة أو مخرجة للطاقة exergonic .

وبالنسبة لنواة الخلية النباتية والكروموسومات وكذلك بالنسبة لعمليتي الانقسام المباشر Mitosis والانقسام الإختزالي Meiosis فإنها تشبه مثيلاتها في الخلايا الحيوانية وسوف نتناول شرح هذه التراكيب والعمليات في أبواب لاحقة مستعينين بأمثلة توضيحية حيوانية ونباتية .

## الفصل الرابع عشر

### النواة البينية THE INTERPHASE NUCLEUS

اكتشف روبرت براون فى عام ١٨٣١ النواة كجزء اساسى ودائم فى الخلية ومنذ ذلك الوقت والدراسات مستمرة على المكونات الخلوية. وتمر النواة فى تاريخ حياتها بمرحلتين هما المرحلة البينية وهى الطور بين انقسامين متعاقبين وهذه المرحلة أبيضية وهى التى كان يطلق عليها " بالطور الساكن " وهو وصف غير دقيق إذ أن النواة تكون نشطة وتقوم بجميع الأنشطة الحيوية فى كل الأوقات .

أما المرحلة الثانية للنواة ، مرحلة الانقسام ، فهى فترة الانقسام فى الخلية ، والنواة تركيب دائم فى كل الخلايا الحية عدا خلايا الدم الحمراء الناضجة للشدييات . وفى الحيوانات الدنيئة لا توجد نواة أصيلة موحدة التركيب كما فى خلايا الحيوانات المعقدة التركيب ولكن الذى يمثل النواة ما هو إلا عدد من الحبيبات من المادة النووية ( حبيبات كرماتينية ) مبعثرة فى سيتوبلازم هذه الخلايا كما فى بعض الحيوانات الأولية السوطية . أما فى البكتريا فلا يوجد تركيب نووى يظهر بالتحضيرات التى تتبع لظهارها . ويعتقد بعض علماء الخلية أن هذه الحبيبات المنتشرة ذات خواص كيميائية تتميز بها الأنوية الحقيقية .

وقد أمكن بواسطة المجهر الالكثيرونى تعيين بعض الجسيمات النووية فى البكتريا والتى تتميز بخواص الأنوية . ولا يوجد غلاف أو غشاء نووى فى خلايا البكتريا .

وفى الفيروسات فان المواد النيكلويبرتين المتواجدة تعتبر على أنها تمثل الأجسام النووية .

#### شكل النواة : Shape of nucleus

شكل النواة غالبا ما يكون مرتبطا بالشكل العام للخلية ولكن أحيانا ما تكون النواة غير منتظمة تماما . وكقاعدة عامة فإن معظم الأنوية تكون كروية أو بيضاوية الشكل . وفى بعض الاحيان تكون مستطيلة أو مكونة من نصوص كما فى كرات الدم البيضاء للفقاريات . وقد يحدث أن يكون شكل النواة غير منتظم المتفرع كما فى الخلايا الاقرازية لبعض الحشرات .

## حجم النواة : Volume of nucleus

غالباً ما يكون حجم النواة كثير التغير ولكن توجد عامة علاقة بين حجم النواة وحجم سيتوبلازم الخلية . ويعبر عن هذا بمعادلة تصرف " بالفهرس السيتوبلازمى النووى " وهى ن ب (NP) .

حجم النواة

$$(NP) = \frac{V_n}{V_c - V_n} =$$

$$\text{حجم النواة} = (V_n) \quad \text{حجم الخلية} = (V_c)$$

وهذا يعنى أن حجم السيتوبلازم حينما يزيد فإن حجم النواة لابد أن يتبعه فى الزيادة . ولهذا فإنه عند حدوث قصور فى الاحتفاظ بالنسبة الثابتة N/P يحتمل أن يكون هذا أحد العوامل التى تدخل الخلية فى طور الانقسام .

أما بالنسبة لعدد الأنوية فى الخلية الواحدة فقد وجد أن معظم الخلايا ذات نواة واحدة ولكن الخلايا ثنائية النواة تتواجد فى الخلايا الكبدية والعصبية والغضروفية .

أما الخلايا عديدة الأنوية فى الخلايا العظمية التى توجد فى نخاع العظام والمدمج الحوي ما هو الا كتلة من البروتوبلازم تحتوى على عدد كبير من الأنوية كما هو الحال فى الألياف العضلية المخططة .

## تمركز النواة : Nuclear location

يتغير موقع النواة فى الاتواع المختلفة من الخلايا ولكنه مميز وثابت فى النوع الواحد من الخلايا . وفى الخلايا الجنينية تحتل النواة عادة المنطقة الوسطية للخلية ولكن كثيراً ما يتغير مكانها بتقدم عملية تمييز الخلية وتكون المواد المختزنة فى السيتوبلازم والمثال على ذلك الخلايا الدهنية أو البويضات الفنية بالبحر نجد أن النواة قد أزيحت عنوة ناحية محيط الخلية نتيجة



لتجمع هذه النواتج الغير حية . ( المواد الدهنية أو المح ) . أما فى الخلايا الغدية فإن النواة تتمركز فى الجزء القاعدى للخلية حيث تشغل الحبيبات الافرازية الجزء العلوى من الخلية . وعموما تشغل النواة موقعا يقرب من مركز السيتوبلازم وفى بعض الحالات تقع فى أحد جوانب الخلية .

### تركيب النواة : Structure of nucleus

#### النواة الحية : Living nucleus

تظهر النواة فى الخلية الحية المصبوغة أو غير المصبوغة على هيئة كرة لامعة تقع فى وسط السيتوبلازم ومحددة بالغشاء النووى . ويبدو - عموما - داخلها متجانسا عدا وجود جسم أو أجسام كروية لامعة تعرف بالنويات . ولكن فى بعض الحالات نجد ان النواة غير متجانسة ولكنها محبة التركيب .

وتبدو النواة فارغة فى صور المجهر الالكترونى ولكن قد تتميز النويات بظهورها كأجسام مضيئة والنواة أكثر كثافة من السيتوبلازم ويمكن فصل أو استخراج النواة باستخدام إبر دقيقة جدا وفى بعض الحالات عندما يتمزق الغشاء النووى فإن مادة سائلة هى العصير النووى أو ما يطلق عليه بالكاربوليف تسيل من النواة والغشاء النووى يسلك سلوك الغشاء الظاهر الحقيقى وليس مجرد وجه فاصل حيث انه يبذل مقاومة معينة للضغط الخارجى وله القدرة على الانتفاخ والتكرمش .

عندما تخترق إبرة دقيقة خلال الغشاء النووى فانها تتحرك داخل النواة دون مقاومة ويمكن تغيير مكان النوية بسهولة .

#### الأنوية المثبتة : Fixed nuclei

تظهر النواة أكثر تعقيدا فى التركيب فى العينات المحفوظة والمصبوغة ويمكن تمييز التراكيب التالية داخل أمثال هذه الأنوية .

#### ١- الغشاء النووى Nuclear envelope

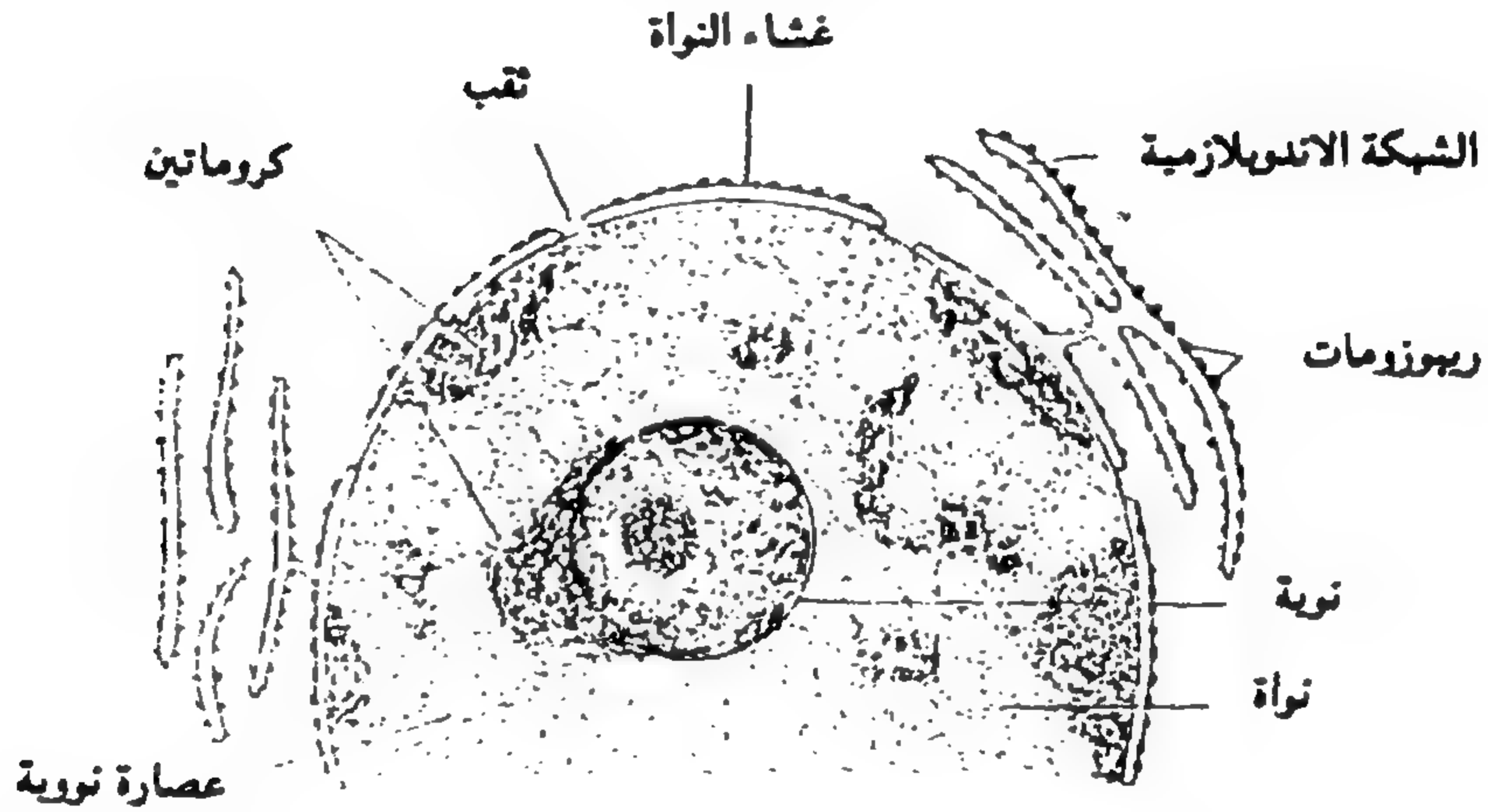
#### ٢ - الكاربولف ( العصير النووى ) Karyolymph

٣ - النويات والكروموسومات Nucleoli and chromosomes

٤ - الكروماتين Chromatin

### ١ - الغشاء النووي أو الكاريوتيكا :

يظهر على هيئة حد واضح في القطاعات الضوئية . ويتميز الغشاء النووي بخاصية القوة الميكانيكية التي تتضح عند التعامل معه بالالات الدقيقة ويقوم الغشاء النووي بتقسيم الخلية الى منطقتين هما النواة والسيتوبلازم كلاهما يمتلك خواصا طبيعية وكيميائية متباينة وهذا الغشاء ينظم اندفاع بعض المواد من النواة الى السيتوبلازم والعكس .



(شكل ٩٢)

الغشاء النووي وارتباطه بالشبكة الاندوبلازمية ( بالميكروسكوب الالكتروني )

وقد أوضح المجهر الالكتروني بأن الغشاء النووي أو الغلاف النووي يتكون من طبقتين : طبقة خارجية مسامية وطبقة أخرى داخلية تبدو مستمرة . وسمك هذه الطبقة المسامية هو ضعف الطبقة الداخلية تقريبا . ويبلغ قطر الثقوب ٤٠٠ أنجستروم تقريبا ولها ترتيب منتظم والمسافة بين ثقب وآخر هي ١٠٠٠ أنجستروم تقريبا وعند حافة الثقب نجد أن طبقتي الغلاف النووي تكونان طبقة واحدة مستمرة . وقد افترض أن الجزيئات الكبيرة يحتمل أن تمر خلال هذه الثقوب بينما قد تمر الجزيئات الصغيرة عن طريق الانتشار خلال الطبقة الخارجية للغلاف النووي ترتبط باغشية الشبكة الاندوبلازمية .

ويعتبر الغلاف النووي جزءا من الجهاز الفجوى ( يتكون من الشبكة الإندوبلازمية وجهاز جولجى ) . وقد عرف منذ أمد طويل أن الحدود النووية إما أن تختفى أو يحدث بها تنظيمات رئيسية أثناء عملية الانقسام مما ينتج عنه تكون حدود جديدة تحيط بكل من النواتين الناتجتين ( الاختين ) . وأثناء المرحلة التمهيديّة للانقسام الميوزي ( غير المباشر ) فإن الغلاف النووي يتمزق ويعطى عددا كبيرا من الحويصلات التى تنتشر فى السيتوبلازم والتى يصعب تمييزها من عناصر الشبكة الإندوبلازمية . ويتكون الغلاف الجديد فى المرحلة النهائية للانقسام لميوزي حول كل من النواتين الناتجتين ، وهذا يستلزم هجرة العناصر الغشائية للشبكة الإندوبلازمية حول سطح الكروموسومات حيث تتجمع وتلتحم وتترتب فى تركيب غشائى مزدوج .

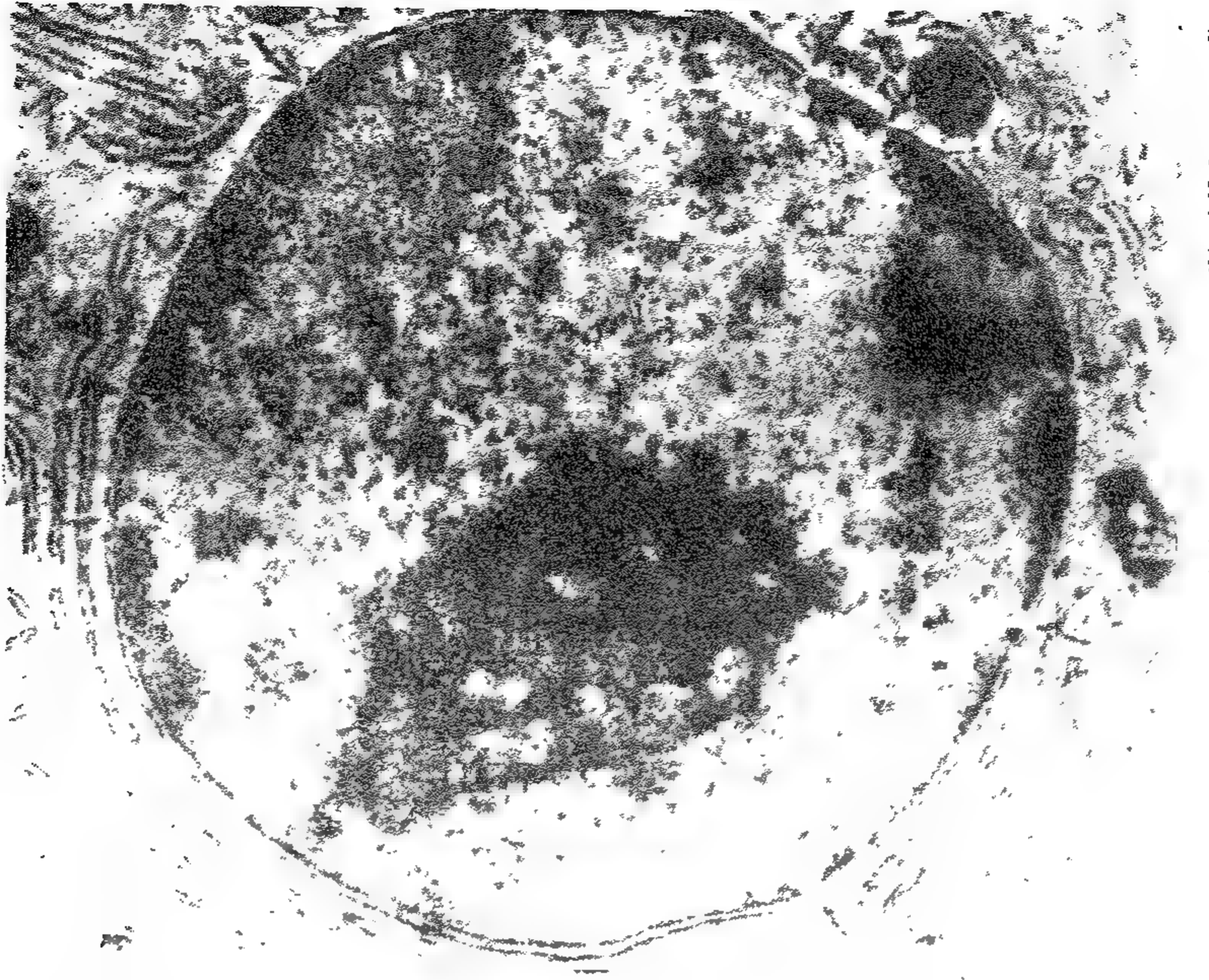
ولقد درست خاصية النفاذية للغشاء النووي فى أنوية منفصلة عن الخلايا وقد وجد أن أنوية بويضات الحيوانات البرمائية نفاذة للأملاح والسكريات وبعض المواد الذوتينية مثل الهوموجلولين . وقد وجد أيضا فى الخلايا المتصلة أن صبغة البيرونيّن التى تصبغ النوية تختفى بعد فترة ١٥ دقيقة من معاملة الخلايا بإنزيم الريبونيكليز وقد فسر هذا على أن هذا الانزيم ذو الوزن الجزيئى الذى يبلغ ١٣٠٠٠ يدخل النواه عن طريق الثقوب النووية .

## ٢ - النويات : Nucleoli

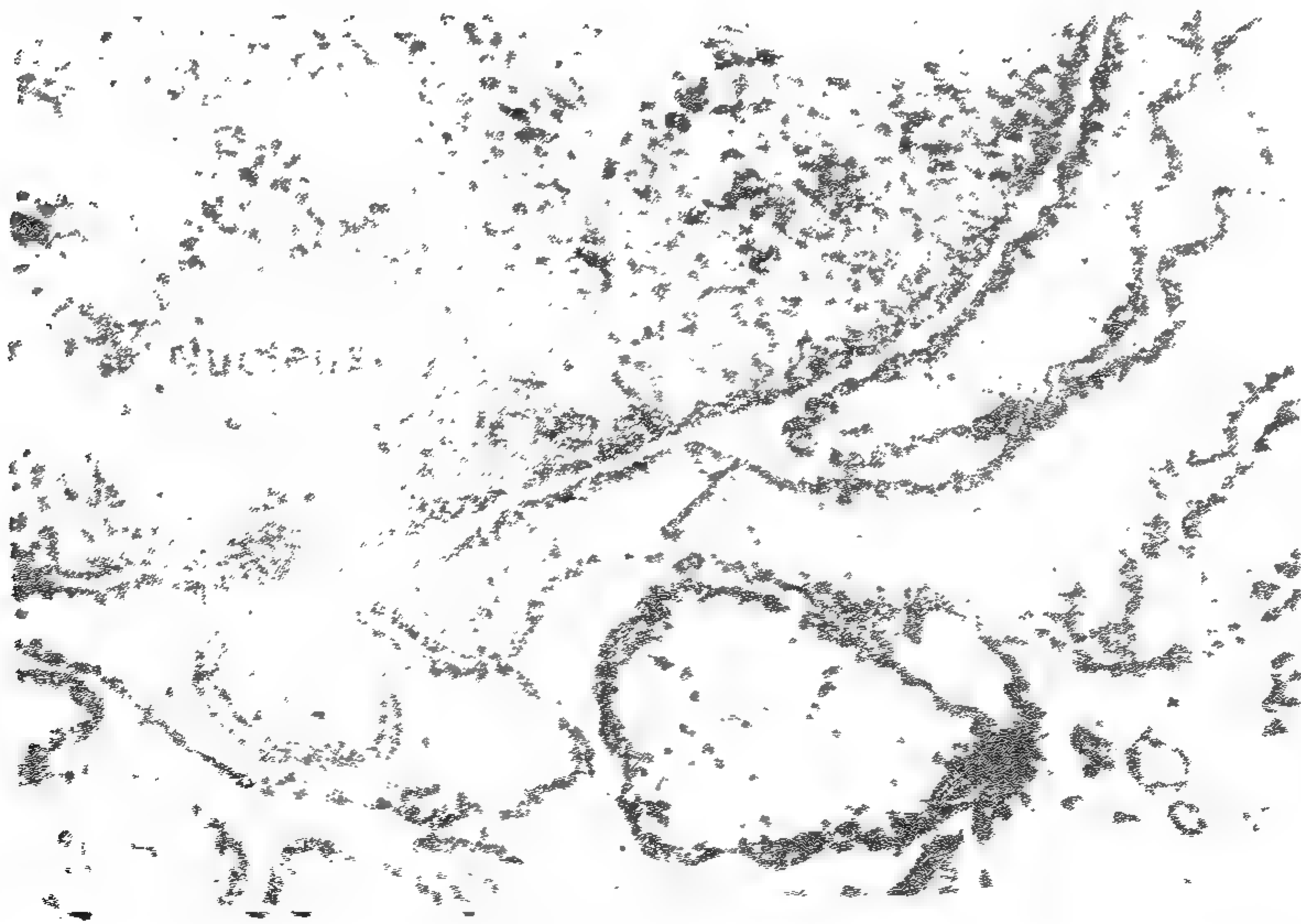
تحتوى كل نواة بينية على نوية أو أكثر - كروية الشكل تقريبا . والنويات غالبا ذات احجام ملحوظة ( خاصة فى الخلايا العصبية والبويضات ) . وتتركب النوية كما يبدو - من جزئين مختلفين : جزء متميى وجزء آخر خيطي الشكل . وقد كشف المجهر الالكترونى عن وجود ترتيب محدد بداخل النوية ، وفى بعض الخلايا يلاحظ وجود تراكيب ليفية غير منتظم داخل النوية وفى بعض الحالات الأخرى تبدو النوية متماسكة ومتجانسة نسبيا .

فى أثناء الانقسام الميوزي تتعرض النويات لتغيرات دورية فهى تختفى فى بداية الانقسام وتعود للظهور فى نهايته . وتظهر النويات فى المرحلة الانفصالية للانقسام الميوزي ويكون ظهورها مرتبطا بمناطق معينة فى كروموسومات معينة تعرف بالكروموسومات النووية وذلك لتمييزها عن بقية المجموعة الكروموسومية ، وتحتوى النوية على نسبة عالية من البروتين ونسبة من حامض الريبونيكليك RNA وبعض الدهون .





شكل ٩٣ ) شكل بالميكروسكوب الالكترونى يوضح الغشاء النووى والشبكة الاندويلازمية



(شكل ٩٤ ) شكل آخر بالميكروسكوب الالكترونى يوضح الغشاء النووى والشبكة الاندويلازمية مرتبطة به

وتشبه النويات السيتوبلازم فى أنها تصبغ بسهولة بالصبغات الحامضية . ويوجد فى الانوية أجسام أخرى تصبغ بالأصباغ القاعدية مثل النويات الكروماتينية ( النويات الكاذبة ) التى تعرف بالكاربوسوم ، والكاربوسوم ما هو الا كتلة من الكروماتين التى تستخدم كمستودع للمادة الكروماتينية التى تسحب منها الكروموسومات جزءا منها على الأقل - عند اقتراب عملية انقسام النواة . وفى بعض الأحوال نجد ان الكاربوسوم يمثل كروموسوما منفردا والذى استمر متماسكا فى الطور البينى للنواة . أما النوية الحقيقية فإنها غالبا ما تكون مستودعا للمواد الغذائية .

### ٣- الكاربوليف : أو الليف النوى

يوجد داخل غشاء النواة سائل يعرف بالعصير النوى أو البلازما النووية أو الليف النوى الذى يبدو عادة كسائل حمضى رائق وذو لزوجة منخفضة . وأحيانا يكون العصير النوى فى حالة جيلاتينية ويملا هذا السائل النوى المسافات التى توجد بين مكونات النواة .

وتظهر البلازما النووية فى صور المجهر الالكترونى على أنها تتركب من جسيمات غير منتظمة الشكل أو حبيبات . والتيوكلوبلازم ذو طبيعة بروتينية ويحتوى على بعض RNA ويعطى تفاعلا ايجابيا للجليكوبروتين ( كيمياء الخلية ) . كما يوجد عدد من الإلتريمات المميثة مثل الريبونيكليز - الفوسفاتيز القاعدى وثنائى البيتيديز فى الكاربوبلازم وهذه المكونات تعتبر نوعية أى يتميز بها هذا السائل النوى .

### ٤ - الكروماتين :

يظهر فى النواة البينية المثبتة عادة شبكة من مادة مصبوغة صبغا خفيفا والتى تحمل عليها أو بداخلها حبيبات أو كتلا غير منتظمة من مادة لها قابلية عالية للصبغات وتعرف هذه المادة بالكروماتين . والكروماتين هو القاعدة الجسدية للتوريت والذى يحتوى على الجينات او العوامل التى تكون الوحدات المادية الكيميائية التى شيد عليها كل صفات الكائن الحى اثناء نموه والشبكة النووية والحبيبات لا ترى فى الخلية الحية وتعتبر هذه كشوائب فى التقنية .

وكما يلاحظ فى الحالة الحية عندما تمر خلية من الطور البينى الى المرحلة التمهيدية للانقسام الخلوى فإن الحبيبات الكروماتينية المميزة للنواة البينية لاتستمر طويلا بل تختفى ويأخذ مكانها التراكيب المصبوغة باللون الأزرق الداكن والتى يطلق عليها بالكروموسومات أو



الصبغيات وهذه التراكيب سميت بهذه التسمية لأنها جسيمات قائمة الصبغة وترجمتها الحرفية الاجسام المصبوغة ( كروموسومات ) .

والكروموسومات عادة لا تظهر فى الطور البينى للنواة الحية وهذا يرجع إلى أن لها تقريبا نفس معامل إنكسار العصير النووى وبالرغم من ذلك ففى حالات قليلة ترى كروموسومات خيطية الشكل .

كان معتقدا ان الكروموسومات تختفى فى نهاية كل انقسام نووى وتتكون مرة أخرى عند ابتداء الانقسام المتبوزى التالى وبمعنى آخر - كان يعتقد أنه بعد كل انقسام تتكسر الكروموسومات إلى حبيبات كروماتينية التى تتجمع عند ابتداء الانقسام المتبوزى التالى مرة ثانية وتكون الكروموسومات ولكن عموما فانه من المقبول الآن أن الكروموسومات تستمر فى البقاء خلال فترة المرحلة البينية للنواة أى أن الكروموسومات تحتفظ بفرديتها من انقسام إلى انقسام آخر حيث أن نفس الكروموسوم الذى يختفى فى نهاية انقسام يظهر مرة أخرى عند ابتداء الانقسام التالى وهذا مؤسس على الدلائل التالية :-

١ - انتقال مجموعة الكروموسومات المتطابقة ضوئيا من خلية الى أخرى .

٢ - الدليل الوراثى الخاص بتوزيع العوامل الوراثية أو الجينات التى تنظم بطريقة طولية معينة محددة .

٣ - وفى بعض الحالات - وخاصة عند استخدام الميكروسكوب المتعدد المراحل المتباينة- تظهر الكروموسومات فى بداية أحد الانقسامات فى نفس المكان التى كانت تشغله فى نهاية الانقسام السابق ومثال ذلك : أثناء مراحل تغلج بويضة الاسكارس نجد أن نهايات الكروموسومات فى المرحلة النهائية تظهر فى الفصوص التى كانت تشغلها فى نهاية المرحلة النهائية السابقة . ويدعم حقيقة تواجد الكروموسومات خلال المرحلة البيئية فصل الخيوط الكروماتينية من الانوية غير الحية لخلايا الليمكيا اذ أن الشبكة النووية لخيوط شبكة الكتان المصحوبة بحبيبات الكروماتين عند نقط التقاطع ليست بشوائب تقنية وهى لا ترى فى الحالة الحية . الكروموسومات فى النواة البينية لا تثبت وذلك ربما يرجع الى احتواها على نسبة عالية من الماء ولكن توجد شواهد على أنه فى التحضيرات المثبتة للنواة والمنقسمة ميتوزيا أنها تعطى صورة دقيقة جدا لما يحدث داخل الخلية الحية .



## الفصل الخامس عشر

### الكروموسومات THE CHROMOSOMES

بالرغم من أن ولدیر ۱۸۸۸ كان أول من أطلق هذه التسمية " الكروموسومات " إلا أن هوفميتز كان قد سبق بخمسين عاما في وصفها ، ويمكن تعريف " الكروموسوم " Chromosome بأنه تركيب نووي أى أنه يقع داخل النواة وأنه من مكونات النواة الأساسية . والكروموسومات لها ترتيب خاص ولكل كروموسوم الشخصية المستقلة والوظيفة الخاصة وله القدرة على الاستنساخ الألى أى الازدواج الذاتى Autoduplication مع احتفاظه بالصفات الخارجية والوظيفية أثناء انقسامات الخلية المتعاقبة .

ولقد لقيت الكروموسومات أهمية عظيمة وذلك للدور الرئيسى الذى تقوم به فى الوراثة والتنوع والطفرة التطور بجانب دورها فى تنظيم التشكل والتكاثر والتوازن بين العمليات الحيوية .

وتظهر الكروموسومات عادة أثناء انقسام الخلية وعند ظهورها تبدو كأجسام قضيبية مصبوعة صبغا شديدا . ويتوقف مظهرها الخارجى على الحالة الوظيفية للخلية . وفى بعض الحالات تبدو الكروموسومات على هيئة خيوط رقيقة وفى بعض الحالات تبدو كأجسام متماسكة .

#### استمرارية الكروموسومات Chromosome continuity :

من المعتقد أن الكروموسومات تستمر وتبقى أثناء المرحلة البينية ولكنها فى حالة غير مرئية فى معظم الأنوية . وقد افترض أن إختفاء الكروموسومات يرجع إلى ارتفاع المستوى المائى بها ، وتمشيا مع هذا رأى نجد أن الكروموسومات عندما تدخل المرحلة البينية تملئ بالماء وتصبح غير قابلة للتثبيت . وعند ابتداء المرحلة الابتدائية من الانقسام فإن الكروموسومات تتعرض لفقدان جزء من الماء وتصبح قابلة للتثبيت وتبدو مرئية كخيوط مصبوعة صبغا خفيفا . ويستمر تعرض الكروموسومات لفقد الماء ، وبهذا تزداد القابلية للتثبيت خلال المرحلة الابتدائية حتى تصل إلى ذروتها فى المرحلة الإستوائية ، ويتبع هذا أن الكروموسومات تصبح تدريجيا داكنة الصبغة ومتماسكة بتقدم المرحلة الابتدائية .

ويرى جريسون ١٩٤٨ أن عدم ظهور الكروموسومات أثناء المرحلة البيئية لا يرجع فقط إلى ارتفاع المستوى المائي ولكن ربما يعود أيضا إلى التغيرات التي تتبع انتقال الحامض النووي . ويجب ملاحظة أن وضع الكروموسومات في المرحلة البيئية لا يعرف على وجه الدقة على أنه في جميع الحالات فإن الكروموسومات في المرحلة المبكرة جدا للمرحلة البدائية تكون منفصلة ذلك لا يوجد " الحلزون المستمر " spireme كما أعلن ذلك بعض المؤلفين القدامى .

### الشكل الخارجى للكروموسومات Morphology of the chromosomes

من الثابت أن كل كروموسوم يتكون في المرحلة الابتدائية من شطرين طويلين يسميان بالكروماتيدتين Chromatids وفي بعض الحالات فإن الانقسام الطولى يظهر بوضوح أثناء المرحلة الابتدائية المبكرة . وفي حالات أخرى نجد أن الكروماتيدتين ملتصقتين ببعضهما البعض بحيث يصعب تمييز الفاصل بينها . ولا يزال هناك جدل حول المرحلة التي يتم فيها ازدواج الكروموسوم ، فهناك بعض المؤلفين الذين يعتقدون بأن الكروموسوم ينقسم استعدادا للانقسام الخلوى التالى أثناء المرحلة البيئية ويعتقد البعض الآخر أن ازدواج الكروموسوم يحدث في المرحلة النهائية للانقسام السابق ومن رأى البعض أن الكروماتيدات تتركب من الكروموميرات Chromomeres التي ترتبط بعضها البعض بأجزاء غير مصبوغة يطلق عليها بين الكروموميرات interchromomeres ويتم انقسام الكروموسوم عن طريق ازدواج الكروموميرات هذه .

وتتم الدراسة الوافية لكشف الكروموسومات ( شكل ٩٥ ) أثناء المرحلة الاستوائية والمرحلة الانفصالية لانقسام الخلية حيث تبدو الكروموسومات على هيئة أجسام اسطوانية ذات قابلية عالية للصبغات القاعدية . كما يمكن أيضا رؤية الكروموسومات في الحالة الحية بواسطة ميكروسكوب التباين phase contrast وكذلك تظهر امتصاصا شديدا في الطيف تحت البنفسجى microscope ultraviolet spectrum عند ٢٦٠٠ أنجستروم .

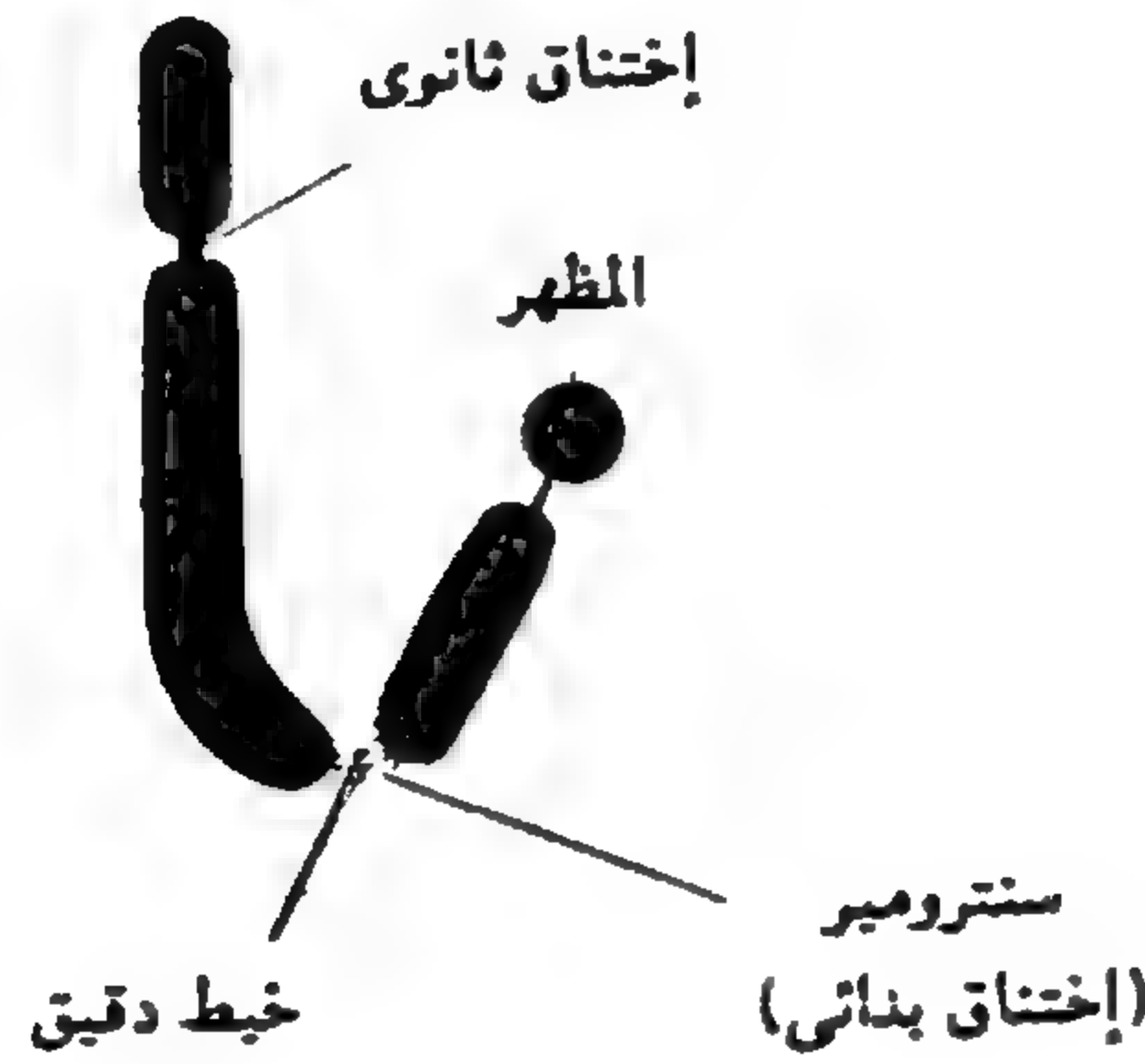
وهناك أربعة أنواع من الكروموسومات شائعة في كل من الخلية الحيوانية والخلية النباتية ( شكل ٩٦ ) :

١ - كروموسومات وسطية المركز metacentric وهي تأخذ شكل V ويتساوى فيها ذراعا الكروموسوم .

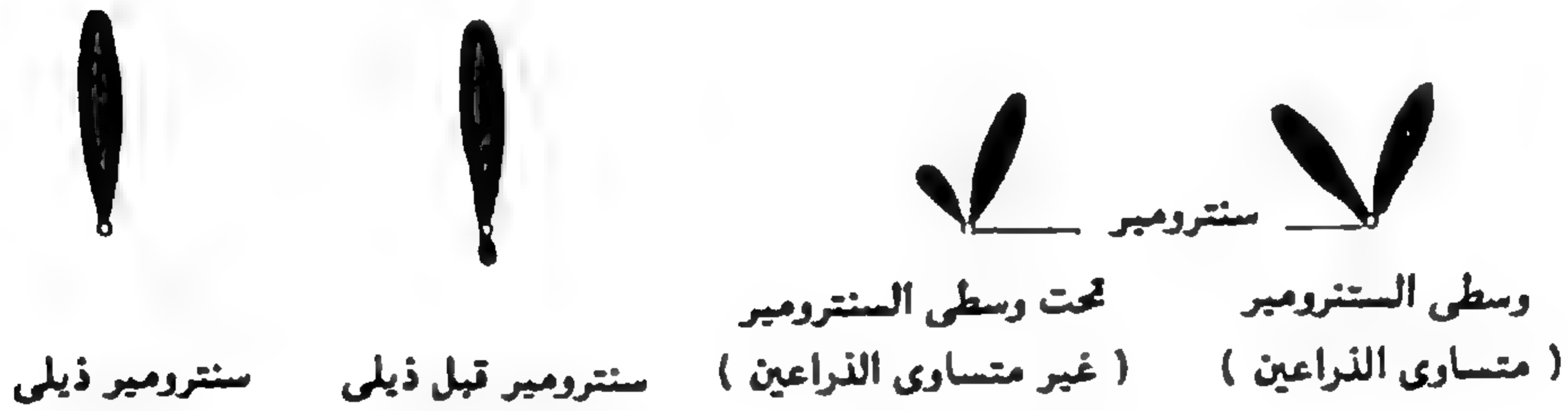
٢ - كروموسومات تحت وسطية المركز أو خطافية الشكل Sub-metacentric أى أن الكروموسوم ذو ذراعين غير متساويين .

٣ - كروموسومات قمة المركز acrocentric : حيث يبدو الكروموسوم كـB نه قضيب مستقيم ويقع السنترومير عند بداية هذا القضيب .

٤ - كروموسومات نهائية ( أو ذيلية ) المركز telocentric : وهي B ايضا تقع فيها القطعة المركزية - السنترومير - في نهاية الكروموسوم .



(شكل ٩٥) أنواع الكروموسومات وفقا لموقع السنترومير



(شكل ٩٦) منظر الكروموسوم من الخارج

القطعة المركزية ( السنترومير ) Centromere :

هي منطقة خاصة على الكروموسوم تلتصق وتعلق بها خيوط المغزل أثناء انقسام الخلية وهذه هي التي تعرف بالقطعة المركزية أو السنترومير (centromere) أو الجزء الأولى



( شكل ٩٦ ) ، وهي أقل قابلية للصبغة عن المناطق الأخرى للكروموسوم . ويمكن فى بعض الكروموسومات رؤية خيطين رقيقين يخترقان القطعة المركزية . وهذه الخيوط تسمى الكرومونوماتا chdromonemata وفى بعض الحيوانات توجد حبيبة أو جسم كروى صغير كنوسوم (kinosome) فى منتصف كل خيط . ويعتقد هوايت (١٩٣٥) بأن المنطقة غير القابلة للصبغ هى عضو الالتصاق بينما يعتبر دارلنجتون (١٩٣٦) بأن الحبيبة هى العضو الحقيقى للالتصاق غير أن الإعتقاد السائد الآن هو أن اصطلاح القطعة المركزية " يدل على أن المنطقة بأكملها هى منطقة الالتصاق بالمغزل وكثيرا جدا ما نجد أن الكروموسومات فى الاطوار الإستوائية والإتفصالية تلتوى عند القطعة المركزية ويبدو الكروموسوم وكأنه مكون من جزئين أو من طرفين تفصلهما عن بعضهما فجوة غير مصبوغة .

ويعرف كل من جزئى الكروموسوم الذان يقعان على جانبي القطعة المركزية بالأذرع والتي قد تكون متساوية أو غير متساوية فى الطول معتمدة على موقع القطعة المركزية التى تكون ثابتة بالنسبة لكل كروموسوم . ولهذا نجد أنه تبعا لموقع القطعة المركزية أو السنترومير - يأخذ الكروموسوم أشكالا متعددة التى قد تكون وسطية المركز ، تحت وسطية المركز ، قمبة المركز ثم نهائية ( أو ذيلية ) المركز كما سبقت الإشارة . وقد يتغير شكل الكروموسوم اذا تأثر مثلا بعقار ما فمثلا يتحول الكروموسوم تحت وسطى المركز ، تحت تأثير مادة الكوليتشيسين ، إلى كروموسوم مستقيم ، وعادة يوجد سنترومير واحد لكل كروموسوم وفى هذه الحالة يطلق عليه كروموسوم وحيد السنترومير - أى وحيد القطعة المركزية monocentric ، وقد يكون هناك قطعتان مركزيتان على الكروموسوم الواحد ثنائى السنترومير diplocentric وقد يكون هناك أكثر من قطعتين مركزيتين عديد السنترومير polycentric .

وهناك احتمال كبير جدا بأن للسنترومير علاقة معينة بحركة لكروموسومات أثناء عملية الإنقسام .

### الحز ( الاختناق ) الثانوى Secondary constriction :

قد تحمل الكروموسومات جذورا ثانوية على أحد أو كلا ذراعيها وهذه الحزوز الثانوية ثابتة الموقع بالنسبة لكل كروموسوم . ويمكن تمييز الحز الثانوى عن الحز الأولى Primary constriction ( الذى تقع به القطعة المركزية - السنترومير ) وذلك لغياب الانحراف الزاوى الملحوظ بين قطع الكروموسوم على كلا الجانبين ( شكل ٩٦ ) .

## التيلوميرات أو القطع النهائية : Telomeres

التيلوميرات هي الأجزاء النهائية للكروموسومات . وعند تكسير الكروموسومات بواسطة أشعة إكس يلاحظ أن القطع الناتجة قد تلتحم مع بعضها مرة ثانية عدا القطعة النهائية . لهذا فإنه يبدو أن التيلومير ( القطعة النهائية ) لها خاصية استقطابية معينة تمنع القطع الأخرى من الإتصال أو الإلتحام بها .

## منطقة النوية : Nucleolar zone

يوجد أيضا جزء آخر على بعض الكروموسومات يصعب تمييزه عن الحزب الثانوى . ويعرف هذا الجزء بالمنطقة النووية أو منظم النوية nucleolar organizer أو منطقة تكون النوية nucleolus-forming region لأن لها علاقة وثيقة بتكوين النوية . وعادة ما تحتوى كل خلية على كروموسومين يعرفان بالكروموسومات النووية nucleolar chromosomes التى تمتلك هذه الخاصية .

ويلاحظ فى الطور الانفصالى نجد أن التحديد الدقيق لمنطقة منظم النوية غير واضح تماما حيث أن الكروموسوم يكون فى هذا الطور منضغطا والنوية غير موجودة . وفى الطور النهائى عندما تفقد الوسادة الكروموسومية قابليتها للصبغة وتختفى نجد أن النوية تأخذ فى الظهور ويكون ظهورها مرتبطا بالكروموسومات عند أو قريبا من ذلك الحزب . ويجب ملاحظة أن المادة الكروماتينية للنوية مستخلصة من كل الكروموسومات المتواجدة فى النواة ولكن بطريقة ما فإنها تتجمع وتنظم كنوية فى المنطقة النووية فقط . ولهذا يبدو أن محتويات النوية تنتقل إليها من الكروموسومات .

## الجسم النجمى ( المظهر ) : Sateuite

تعرف القطعة الصغيرة من الكروموسوم التى تلى المنطقة النووية بالجسم النجمى أو ترابانت ( شكل ٩٦ ) والجسم النجمى هو زائدة مستديرة أو مستطيلة تتصل ببقية جسم الكروموسوم بخيط كروماتينى رقيق . وحجم الجسم النجمى متغير وقد يكون الخيط الكروماتينى قصيرا أو طويلا ولكن هذه الصفات تكون ثابتة دائما بالنسبة لكل كروموسوم معين . وفى الكروموسوم النوى فإن المنطقة المكونة تقع فى الجزء الذى يتصل به الجسم

النجمى بالكروموسوم . ويعتقد أن المنطقة التى تنتج النوية تتكون من :

أ - منظم النوية Nucleolar organizer : وهى المنطقة التى تقع فى نهاية الكروموسوم وتتصل ببقية جسم الكروموسوم بواسطة الخيط الكروماتينى .

ب - الجسم النوى Nucleolar body وهو جزء النوية الذى يبدأ تكونها قبل ظهورها نفسها بصورة كاملة .

ج - خيط الجسم النجمى Filament of the satellite وهو امتداد الكرومونيما بدون الوسادة وهو تكوين دائم الكروموسوم .

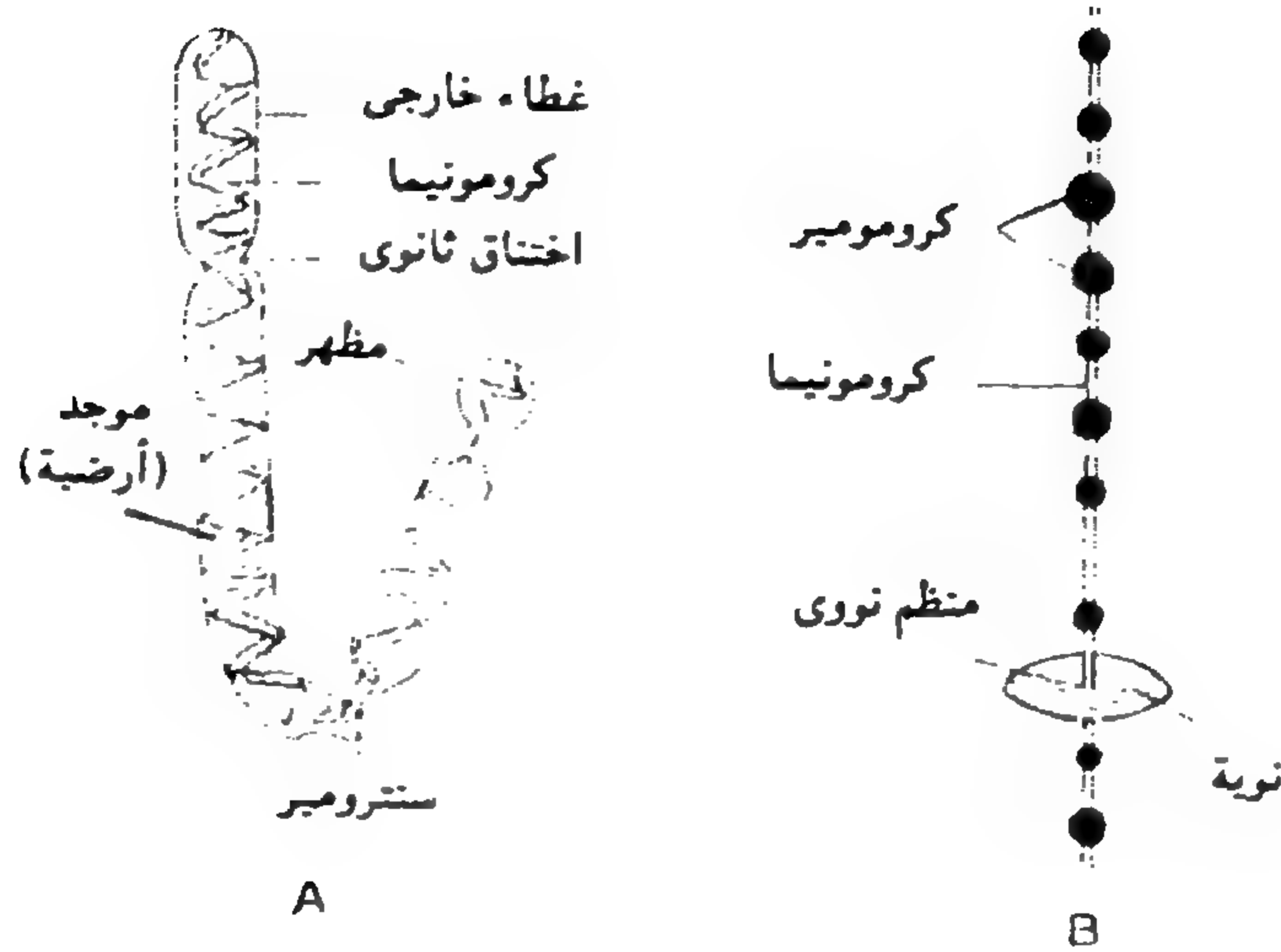
### الكاريوتيب أو الثوابت أو النموذج الكروموسومى Karyotype :

هى أهم المميزات التى تعرف وتحدد فردية الكروموسومات بعضها عن بعض فى الإنقسام غير المباشر ( الميتوزى ) وتشتمل على عددها ، الحجم النسبى ، التركيب ، السلوك والتنظيم الداخلى بجانب مميزات وصفات أخرى مثل الإنقباض الخطى ودرجة الخلزنة spinal coiling وغيرها .

عدد الكروموسومات : عدد الكروموسومات ثابت فى كل الخلايا الجسمية للنوع الواحد . وهذا العدد ليس ثابتا فقط فى الخلايا الجسمية بل نجد أيضا أن المجموعة الكروموسومية متشابهة أيضا ، أى أن كل خلية جسمية بها العدد الثابت للنوع كما أن المجموعة الكروموسومية متشابهة أيضا من حيث الشكل والحجم . وتوجد الكروموسومات فى معظم الخلايا الحيوانية للنوع الواحد على هيئة أزواج ويتشابه الفردان بالنسبة لكل زوج من أزواج الكروموسومات تشابها تاما فى الشكل والحجم وإن كان كل زوج يختلف عن أزواج المجموعات الكروموسومية الأخرى فى النوع الواحد . ولذلك يطلق على كل زوج بأنها كروموسومات متناظرة homologous chromosomes ولهذا فإن مجموعة الكروموسومات الجسمية هى مجموعة مزدوجة Diploid set (2n) تتكون من مجموعتين فرديتين haploid sets (n) : احدى هاتين المجموعتين تأتى من الأب عن طريق الحيوان المنوى وتسمى الكروموسومات الأبوية paternal chromosomes وتأتى المجموعة الأخرى من الأم عن طريق البويضة ، وهى الكروموسومات الأموية maternal chromosomes .



الشكل : شكل الكروموسومات مميز لكل نوع وقد يتغير هذا الشكل تحت تأثير العوامل الكيميائية أو الإشعاع . وقد تحدث مثل هذه التغيرات من وقت إلى آخر بصورة تلقائية .



(شكل ٩٧ )

(A) شكل يوضح التركيب الداخلى للكروموسوم (B) رسم يبين الكروموسوم فى المرحلة البينية

وتعتمد المقاييس التى تستخدم فى التعرف المورفولوجى على الكروموسومات أساسيا على موقع السترومير والقطعة المركزية وعلى الحز الثانوى وموقع الجسم النجمى وبعض المعايير الأخرى .

الحجم : حجم الكروموسومات ثابت ونسبى وهام جدا فى تحديد فردية اعضاء المجموعة الكروموسومية . وتختلف الأبعاد النسبية للكروموسومات عادة فيما بينها . وقد يتراوح طول الكروموسوم بين ٢، الى ٥٠ ميكرون . ويتراوح قطره بين ٢، إلى ٢ ميكرون .

هذا وتطلق كلمة " كاريوتيب " Karyotype على مجموعة الثوابت أو الصفات التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند التعرف على المجموعة الكروموسومية والكاريوتيب ( شكل ٩٨ ) خاصة مميزة للفرد والعنصر والجنس أو التجمعات الاكيز ويمثل الكاريوتيب

عادة بشكل يعرف بالإيدوجرام idiogram الذى يتضمن ترتيب الكروموسومات حسب نظام عالمى متفق عليه . ويمكن عن طريقه التعرف - ليس فقط على جنسه ( ذكر أم اثنى ) ولكن ما إذا كان سليما وراثيا أو ان به شذوذا وراثيا ام مرضا وراثيا .

### التركيب الداخلى للكروموسومات : Internal structure of chromosomes

يمكن دراسة التركيب الداخلى للكروموسومات باستخدام طرق خاصة مثل انعكاس أشعة إكس واستخدام الميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الالكترونى أو الأشعة فوق البنفسجية بواسطة التحليل الضوئى وكذلك كيمياء البروتين ودراسة الإنزيمات وتمكن هذه الوسائل من توضيح خيط دقيق يعرف بالكرومونيما. chromonema التى تلتف التفافا حلزونيا على طول الكروموسوم . وتوجد الكرومونيما مغمورة فى وسادة matrix تغطى من الخارج بجليد رقيق pellicle وتعمل الوسادة كمادة حشوية تغطى الكرومونيما وتعطيها شكلها الحلزونى .

وتتواجد الكرومونيما فى كل مراحل دورة النواة . ويفترض أن الكرومونيما هى التى تحمل الجينات أو الكروموميرات وتبدو الوسادة واضحة فقط فى بعض أطوار الانقسام الميتوزى . ويجب الإشارة إلى أن الكروموميرات التى تقع على طول الكرومونيما تبدو مرئية أثناء الطور التمهيدي عندما تكون الخيوط محتوية على المادة الكروماتينية بنسبة أقل ولكنها قلما ترى أثناء الطور الانفصالى . ويجب ملاحظة أن بعض علماء الخلية ينكرون وجود الوسادة ولكن رؤية الحلزون فى كثير من الكروموسومات أثناء الطور الاستوائى يبدو كدليل يثبت وجود الوسادة .

ويشتمل الكروموسوم على لفتين : لفات رئيسية major gyres تتراوح من ١٠ - ٣٠ ثنية ولفات صفرى minor gyres عمودية على اللفات الرئيسية وتتكون من ثنيات صغيرة . ويعتمد عدد الثنيات فى اللفات الرئيسية على طول الكروموسوم ، فالكروموسوم الطويل قد يحتوى على ٢٠ - ٣٠ ثنية بينما قد لا يحتوى الكروموسوم الصغير على أية ثنية كاملة .

ويرجع انقباض الكروموسوم أثناء الطور التمهيدي للإنقسام الى درجة التفاف الكرومونيما التى ينتج عنها التركيب الحلزونى إلا فى موضع الإتصال بالخيوط المغزلية لذلك على هيئة حزم أو اختناق صغير constriction .

وتظهر طرق التثبيت العادية الكروموسومات الاستوائية على هيئة قضبان متجانسة غير أنه باستخدام طرق تثبيت خاصة ( التثبيت فى ماء مغلى أو المعاملة ببخار الأمونيا أو الأحماض القوية أو بطريقة فصل الكروموسومات ) تظهر أن كل كروماتيده فى الطور الاستوائى تلتف لتكون حلزونا . ويعتقد العالم هوايت أن هذا هو تركيب حقيقى فى الحالة الحية وأن الطرق الخاصة المثبتة تعمل الى حد ما على فصل هذه الثنيات الكروموسومية وبهذا يظهر التركيب الحلزونى . ومعنى آخر أن هذه الحلزونات لا ترى عادة الا فى الحالة الحية ولا فى التحضيرات المثبتة بالطرق العادية . ويرجع هذا الى وجود ثنيات الحلزون متصلة ببعضها البعض . وعلاوة على ذلك فقد وجد أن هناك كمية معينة من الحامض النووية تغطى كل هذه التراكيب . وفى النباتات ذات الكروموسومات الضخمة مثل النرجسيات ، فإن التركيب الحلزونى يرى عندئذ بوضوح .

وتمثل الالتفافات عادة صفة يتميز بها كروموسوم ما . وفى بعض الحالات فإن اتجاه الالتفاف يكون موحدا فيكون فى اتجاه عقرب الساعة . وفى بعض الحالات الأخرى فإن هذا الاتجاه يختلف ويتنوع فى الأجزاء المختلفة من الكروموسوم حيث يكون فى اتجاه عقرب الساعة فى منطقة معينة وعكس اتجاه عقارب الساعة فى منطقة أخرى . وقد يتغير اتجاه الالتفاف عند نقطة اتصال المغزل - ولكن هذا ليس ظاهرة أساسية . ويجب ذكر أن الكروماتيدتين لزوج معين من الكروموسومات قد تلتف منفصلة الواحدة عن الأخرى أو قد تلتفان مع بعضهما . ويبدو الكروموسوم فى الحالة الأولى على هيئة 8 فى القطاع العرضى ولكن فى الحالة الثانية فإن الكروموسوم يبدو مكونا من شكلين مستديرين أو بيضاويين داخل بعضهما . ويتعرض الكروموسوم فى الطور النهائى لعملية عدم تكدس اللفات الحلزونية وتفككها .

وعندما تطول المرحلة البينية فإن التركيب الحلزونى قد يختفى قبل بداية الطور التمهيدي ولكن عندما تكون المرحلة البنية قصيرة فإن كروموسومات الطور التمهيدي المبكرة تلتف فى حلزون غير متماسك والتي أطلق عليها دارفنجتون (١٩٣٥) " رفاة الحلزون " relic spiral أو بقايا حلزون الطور الاستوائى السابق . وتختفى بقايا الحلزون باقتراب منتصف الطور التمهيدي وعندئذ يبتدىء الحلزون الجديد فى التكوين والنمو فى نهاية هذه المرحلة ويتم تكوينه فى الطور الاستوائى . لذلك فإن هناك نوعين من الحلزونات : النوع الأول



وهو حلزونيّات بدأ به الطور التمهيدى المبكر والنوع الثانى الذى يتكون فى نهاية الطور التمهيدى ويكتمل فى الطور الإستوائى . ولهذا فإن حلزونيّات الطور الإستوائى ليست استمرارا لحلزونيّات الطور التمهيدى .

#### اختلاف تركيز الصبغ Heteropyknosis :

أظهرت كروموسومات معينة فى بعض الحالات - أن أجزاء معينة منها لها قابلية للأصطباج بطريقة تختلف عن بقية مناطق الكروموسومات فى النواة الواحدة وأثناء طور أو أطوار معينة من انقسام الخلية . وتعرف هذه الظاهرة بأنها " اختلاف تركيز الصبغ " heteropyknosis . وعند انصباج كروموسوم أو جزء منه كثافة أشد من مناطق أخرى من الكروموسومات يطلق على هذه المناطق بأنها " ايجابية اختلاف تركيز الصبغة " Positively heteropyknotic وإذا صبغت صبغا خفيفا فيطلق عليها بأنها " سلبية اختلاف تركيز الصبغة " (negatively heteropyknotic) - شكل

وظاهرة اختلاف تركيز الصبغة ظاهرة عامة بين الكروموسومات الجنسية ولكنها لوحظت أيضا فى الكروموسومات الجسمية فى بعض الحالات مثل القنفذ حيث وجد كروموسوم جسمى له " سلبية اختلاف تركيز الصبغة " فى الطور الاستوائى للإنقسام الاختزالى الأول ( سايز ودوجاس ودى دويرتس ١٩٣٦ ) .

والمعروف أنه يوجد نوع واحد من اختلاف تركيز الصبغة فى أنوية خلايا الكائن الواحد ، غير أنه وجد فى نوع من الجراد كلا من ايجابى وسلبى اختلاف الصبغة معا فى المراحل المختلفة لنمو الخلايا الجرثومية فى الذكر . وأحيانا تعرف المناطق الكروموسومية التى تصير مختلة الصبغة فى بعض مراحل الإنقسام النووى بأنها غير متجانسة أو خاملة الكروماتين heterochromatic بينما تسمى المناطق التى يقل فيها أو تنعدم الصبغة فتعرف بانها " حقيقية الكروماتين أو الكروماتين الفعال " enchromatic . ويقصد عادة بالكروماتين الخامل أجزاء الكروموسومات التى بقيت مركزه أو متكدسة فى المرحلة البيئية مكونة النويات الكاذبة أو المراكز الملونة chromocentres ويعتبر الكروماتين الخامل حالة كروموسومية وليس بمادة خاصة .

#### الكروماتين الجنس ( جسم بار ) Sex chromatin (Barr body) :

لاحظ العالمان بارويرترام (١٩٤٩) لأول مرة وجود جسم صغير كروماتينى مصبوغا صبغا قائما فى الخلايا العصبية لأنثى القط لا يوجد هذا الجسم فى الخلايا المثلثة للذكر .

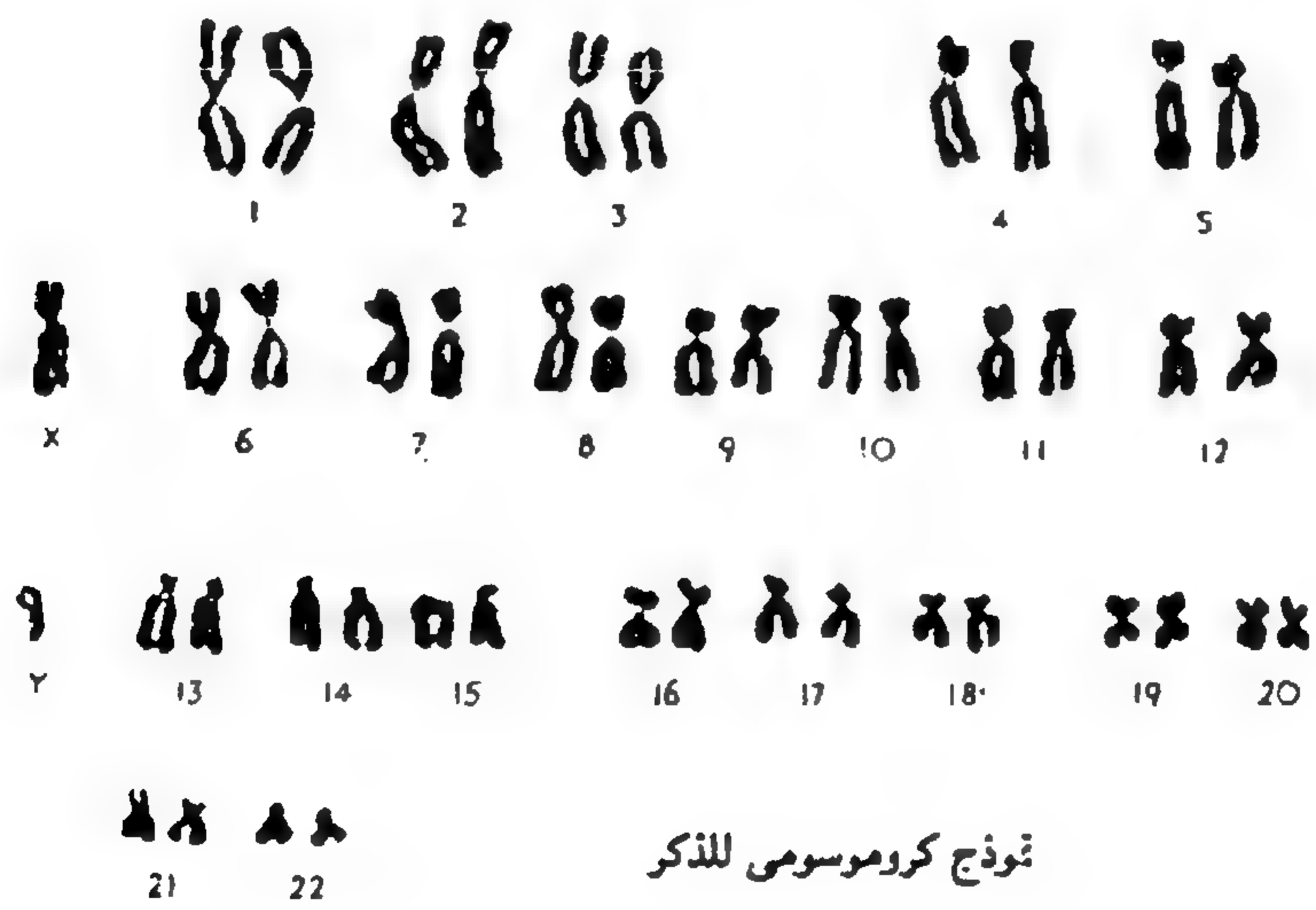
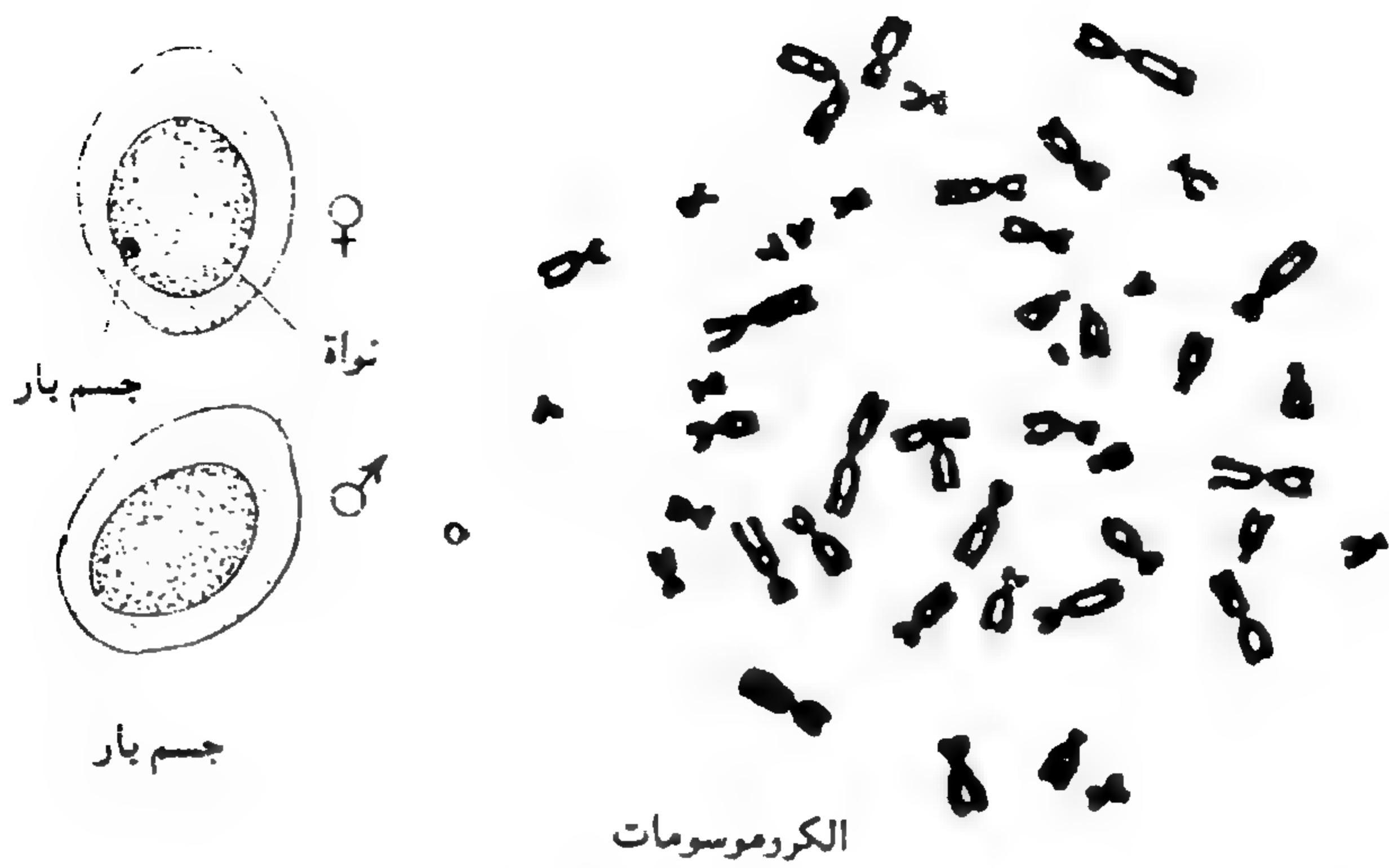
ويقع هذا الجسم على السطح الداخلى للغشاء النووى . وقد قام هذان العالمان بدراسات واسعة على أنواع أخرى من الخلايا فى أنواع أخرى من الحيوانات ، وقد استطاعا دائما توضيح هذا الجسم داخل الانوية . وقد أطلق على هذا الجسم " جسم بار " ( شكل ١٠٤ ) وقد أصبح معلوما أن ظهور جسم بار فى خلايا الإناث ينتج عن وجود كروموسوم ( كروموسوم جنسى ) تكون فى اللقات الخلزونية ومكدسة بإحكام . ويمتد هذا الخلزون إلى مسافة كبيرة من الكروموسوم أو بأكمله فى الطور البينى . ونتيجة لهذا التحلزن المحكم فإن الكروموسوم يصبغ بشدة ليكون جسم بار ومن المعروف أنه فى حالة وجود كروموسومين جنسين ٢ x فإن واحدا منهما فقط هو الذى يوجد فى حالة نشطة ( كروماتين نشط ) ويكون الكروموسوم الآخر فى حالة غير نشطة ( فى حالة الكروماتين الخامل ) . وفى هذه الحالة فقط يظهر جسم بار . وهذا يوضح عدم تواجد جسم بار فى الخلايا الذكورية التى يوجد بها كروموسوم جنسى واحد والذى يجب أن يكون فى مثل هذه الحالة موجودا فى حالة نشطة . والمعروف الآن أن جسم بار يتم اتخاذه كدلالة على جنس الجنين فى رحم الأم خلال الأسابيع الأولى من عمره .

#### التركيب الكيميائى للكروموسومات : Chemistry of the chromosomes

تتكون الكروموسومات من بروتينات نووية بمعنيان البروتينات البسيطة توجد متحدة بالحمض النووية .

ويتكون الجزء البروتينى أساسا من الهستونات فى جميع الخلايا ويظهر البروتامين protamine فقط فى الحيوانات المنوية للأسماك ولكن شدمان وشدمان (١٩٤٣) وصفا نوعا جديدا من البروتين يعرف بالكروموسومين chromosomin فى أنوية الحيوانات المنوية بجانب الهستونات وحمض دى أكسى ريبونيكىك .

وتتكون الأحماض النووية من تجمعات وحدات معينة تعرف بالنيكليوتيدات nucleotides والنيوكليوتيدة عبارة عن جزئ من حمض الفسوسفوريك وجزئ وسكر خماسى وقاعدة من البيورين أو البيريميدين . وترجع قابلية الكروموسومات للصبغ النووية - مثل الهياتكسلين - إلى وجود هذه المجاميع القاعدية .



(شكل ٩٨)  
الكروموسومات



ويعتقد بعض العلماء أن كروموسوم الطور التمهيدي يتكون من لبيفات أو لوفيات بروتينية تعرف بالكرومونيما chromonema في بعض المناطق المعينة لهذه الليفات مكونة ما يشبه العقد التي تسمى بالكروموميرات chromomeres غير أن بعض العلماء يعتقد بأن هذه الكروموميرات ما هي إلا مناطق تراكم لفات الكروموسوم وتحتوى المناطق بين العقدية ( بين الكروموميرات ) inter-chromomeres وهي المناطق الواقعة بين الكروموميرات على كمية قليلة من الحامض النووي أو قد لا يحتوى بالمرّة على هذا الحامض ولهذا تبدو دائما عديمة اللون تقريبا في التحضيرات المصبوغة . وهذا المظهر العقدي للكروموسوم يميز الطور التمهيدي للإنقسام الإختزالي كما أنه يشاهد أيضا في الانقسامات غير المباشرة . وعندما يختفى الغشاء النووي فإن كمية الحامض النووي تزداد في الكروموسومات . وحيث أن الحامض النووي يتواجد في سيتوبلازم الخلايا سريعة الانقسام ولا يتواجد أو يكون بكمية قليلة جدا في الخلايا التي توقفت عن الإنقسام لذلك فإنه من المحتمل أن يكون الحامض النووي قد أزيل من السيتوبلازم وانتقل إلى الكروموسومات عند ابتداء عملية الإنقسام المباشر وكذلك فإنه ينتقل من الكروموسومات إلى السيتوبلازم بعد كل إنقسام نووى .

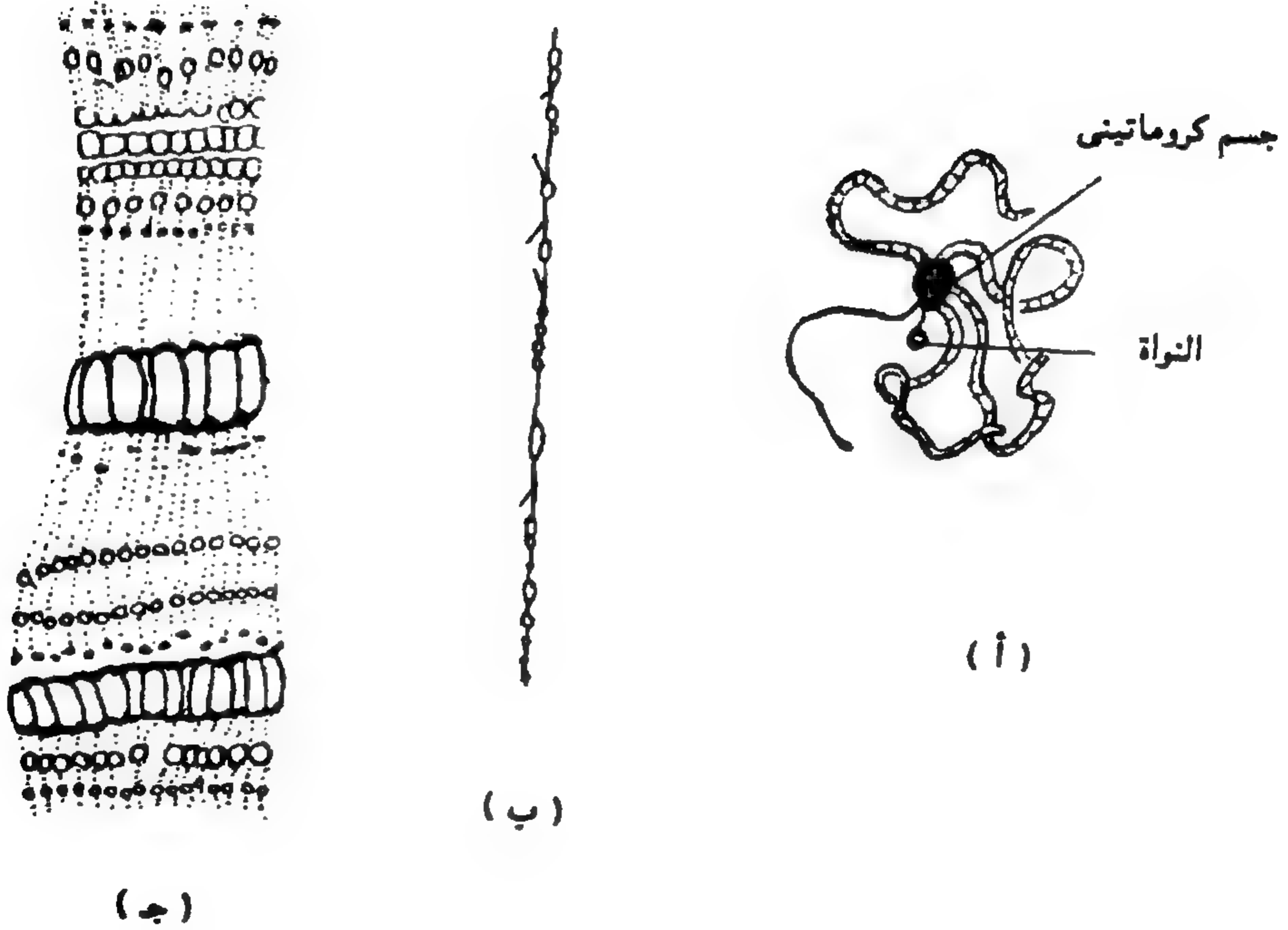
وتختفى النويات في الطور التمهيدي للإنقسام وتظهر في الطور النهائى وعادة ما تنشأ مرتبطة بمنطقة معينة على الكروموسوم تعرف " بالمنظم النووي nucleolar organizer وتحتوى النويات على حامض البيبونيكليلك الذى يتميز به السيتوبلازم ولكن المحتمل ان يتحول نوعا الأحماض النووية كل إلى الآخر وان تلعب النوية دورا في نقل الحامض النووي من وإلى الكروموسومات .

### الكروموسومات العملاقة Giant chromosomes

لوحظ في بعض المراحل المعينة في دورة حياة بعض الخلايا وجود كروموسومات ضخمة تسمى " الكروموسومات العملاقة giant chromosomes " تتميز بكبر حجمها بجانب كبر حجم كلا من النواة والخلية المحتوية عليها . وتشتمل الكروموسومات العملاقة على الكروموسومات عديدة التضام polytene التي توجد في يرقات حشرات ريترا ( ثنائية الأجنحة ) Diptera في الغدد اللعابية وكذلك الكروموسومات التي تسمى " فرشاة المصباح " lamp brush في البويضات الأولية في بعض الحيوانات .

## الكروموسومات عديدة التضام Polytene :

يعتبر بالبيانى (١٨٨١) أول من اكتشف الكروموسومات العملاقة عديدة التضام فى خلايا الغدد اللعابية ليرقات بعض الحشرات . وقد قام بعض علماء الخلية مثل هايتزوباور ١٩٣٣ بينتر ١٩٣٤ وكلر ١٩٣٥ بعد ذلك دراسة هذه الكروموسومات وبيان أهميتها بالنسبة للوراثة السيتولوجية حيث أن كروموسومات الغدد اللعابية عادة ما تتكون من أزواج من كروموسومين متناظرين ومتلاصقين وهذان الكروموسومين يظهران كما لو أن بهما شرائط أو أقلام عرضية نتجت من تبادل قطع قابلة للصبغة وأخرى غير قابلة للصبغة وهذان الكروموسومان النظيران يشبهان فى كثير من الأوجه تنائيات الطور الضام .



(شكل ٩٩ )

- (أ) منظر الكروموسومات العملاقة فى خلايا الغدة اللعابية فى ذبابة الفاكهة (دروسوفيلا) .  
(ب) شكل تفصيلى يوضح الكروموسومات .  
(ج) منظم الكروموسومات والكروموسومات .

ويطلق بعض المؤلفين على هذه الكروموسومات العملاقة تسمية أو " اصطلاح الكروموسومات عديدة التضام " polytene chromosomes لأن وجودها غير مقصور على أنوية الغدد اللعابية لثنائية الأجنحة ولكن توجد في أنسجة أخرى مثل خلايا طلائية المعى ، وأنيبات مليبجي ، كما توجد في الخلايا العصبية . وفي هذه الحالة فإن كل كروموسوم يزدوج بإحكام بنظيره بمعنى أن كل كروموسومين نظيرين يلتصقان التصاقا تاما علي امتداد طولهما ولذلك فإن عدد الكروموسومات يبدو فردي العدد وليس بالزوجي . ويلتف الكروموسوم التفافا حلزونيا حول نظيره الآخر كالحبل المجدول . لكن يجب ملاحظة أن هذه الكروموسومات لا تلتف التفافا حلزونيا محكما . ويبلغ طول هذه الكروموسومات ٥٠ مرة بالنسبة لطولها في طور النهائي للإنتقسام الميتوزي .

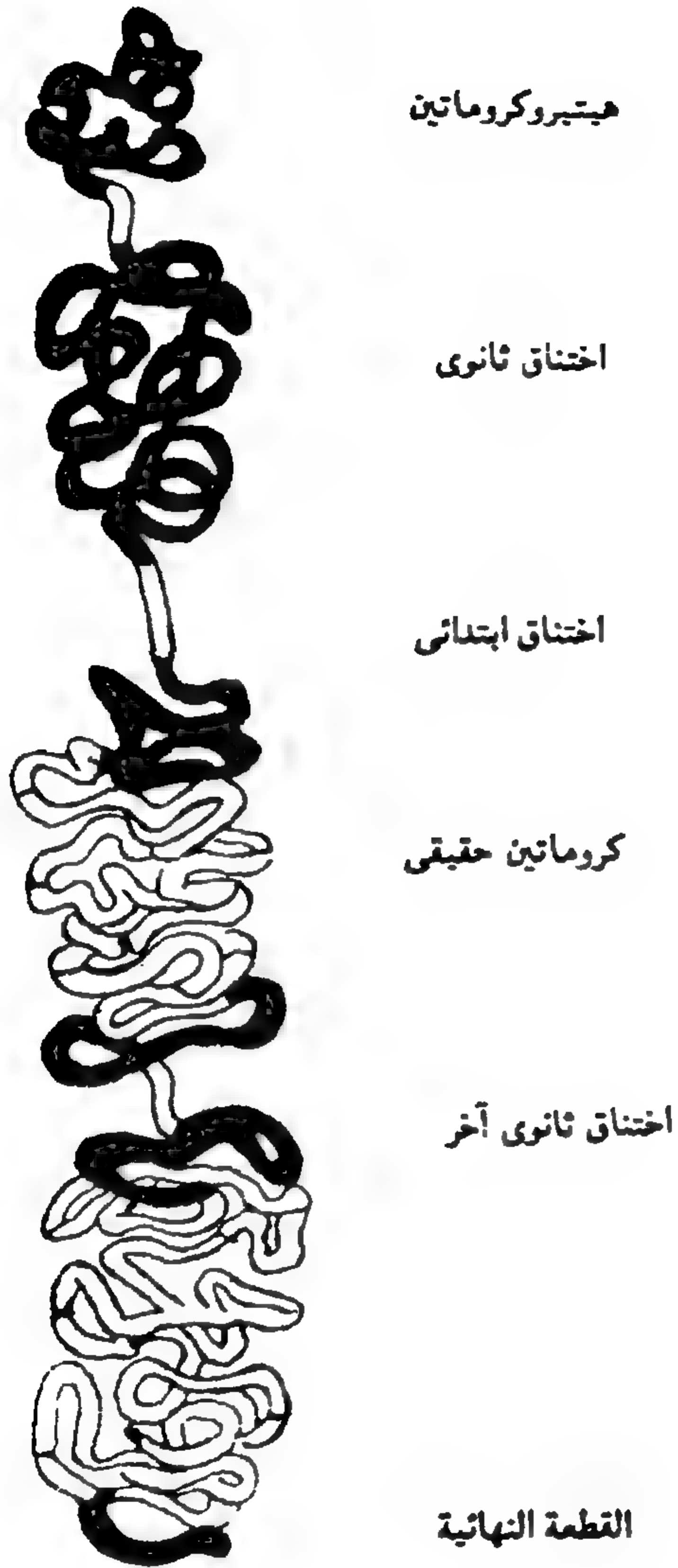


(شكل ١٠٠)

صورة للكروموسومات العملاقة في الغدد اللعابية لذباب الفاكهة

وقد فسر بنيان ( تركيب ) هذه الكروموسومات العملاقة على أساس أنه حدث في الكروموسومات العادية انقسامات طولية متتابة إلى أن تكون كتلة غير منتظمة تشبه الحبل . ومن ثم أطلقت عليها تسمية "الكروموسومات العملاقة" عند جرش ( صحن أو طحن ) crush كروموسومات الغدد اللعابية تحت غطاء الشريحة وصبغها بالصبغة المناسبة مثل صبغة الأستيوكارمين التي تستخدم للصبغة والتثبيت فإن هذه الكروموسومات تبدو مكونة من سلسلة من الشرائط المعتمة يفصلها عن بعضها مناطق غير مصبوغة تعرف بأنها بين عقدية أو بين الاشرطة interbands . ومعنى آخر فإن الكروموسومات عديدة التضام تظهر كأنها مخططة بوضوح تخطيطا عرضيا ، وهي على ذلك تشبه في مظهرها الفصالات المخططة .





(شكل ١٠١)

شكل يوضح الكروماتين فى احد كروموسومات الثدييات فى المرحلة الاستوائية

والشرائط المعتمدة غنية بالحامض النووي فهي تصبغ بشدة بالصبغات المميزة للأتوية الخامة بالنواة مثل صبغ فولجين Feulgen بينما نجد أن المناطق بين العقدية تحتوي على قليل من الحامض النووي وتبدو المناطق بين الشرائط ليفية المظهر أو أكثر مرونة عن الشرائط ولا تصبغ بالصبغات القاعدية وتختلف الشرائط عن بعضها نتيجة لتراكم الكروموميرات . وهناك بعض الشرائط الكبيرة خاصة تلك التي تتواجد في المناطق الحاملة من الكروموسوم ، تتكون من كروموميرات حوصلية يطلق عليها أحيانا الكروموميرات غير المتجانسة أو الهيتروكروموميرات heterochromomeres وتركب بعض الشرائط السميكة من شرائط رقيقة بها العديد من المسافات بين العقدية القصيرة .

وتختلف شرائط الكروموسوم البوليتيني عن بعضه في الحجم على أنها تحتل مكانا مطابقا في الكروموسومين النظيرين . ويكون الموضع والحجم والعدد دائما ثابتا في كروموسوم معين في أي فرد من أفراد النوع الواحد . ولهذا فإن الشرائط الكروموسومية يتم تجهيزها من كروموسومات الغدد اللعابية لتظهر عدد وموضع الشرائط وعلى ذلك فإنه من السهل التحقق من عدم التنظيم والتغيير في ترتيب الشرائط ترتيبا خطيا . وحيث أن بعض الشرائط السميكة تكون مركبة بمعنى أنها تتكون من عدد كبير من الشرائط الدقيقة الملتصقة بعضها البعض فإنه من الصعب التعرف على عدد الشرائط في أي كروموسوم . وبلغ مجموع عدد الشرائط في الكروموسوم الجنسي (x) للدوسوفيللا ميلاتروجستريرو على ٤٠٠٠ شريطا . وغالبا ما تكون هذه الشرائط مزدوجة بمعنى أن كل شريطين متجاورين يكون لهما نفس السمك ويعتبر كل شريط قرصا حيث أنه يمتد ويحيط بالكروموسوم . علاوة على ذلك فإن كل شريط يتكون من حبيبات عديدة ( حوالي ٢٥٦ في حشرة الكيرومونس ) تلتحم ببعضها البعض لتكون منبعجة عرضيا . وتتصل حبيبات الشريط الواحد بحبيبات الشريط الذي يليه بواسطة خيوط دقيقة على كل من الجانبين .

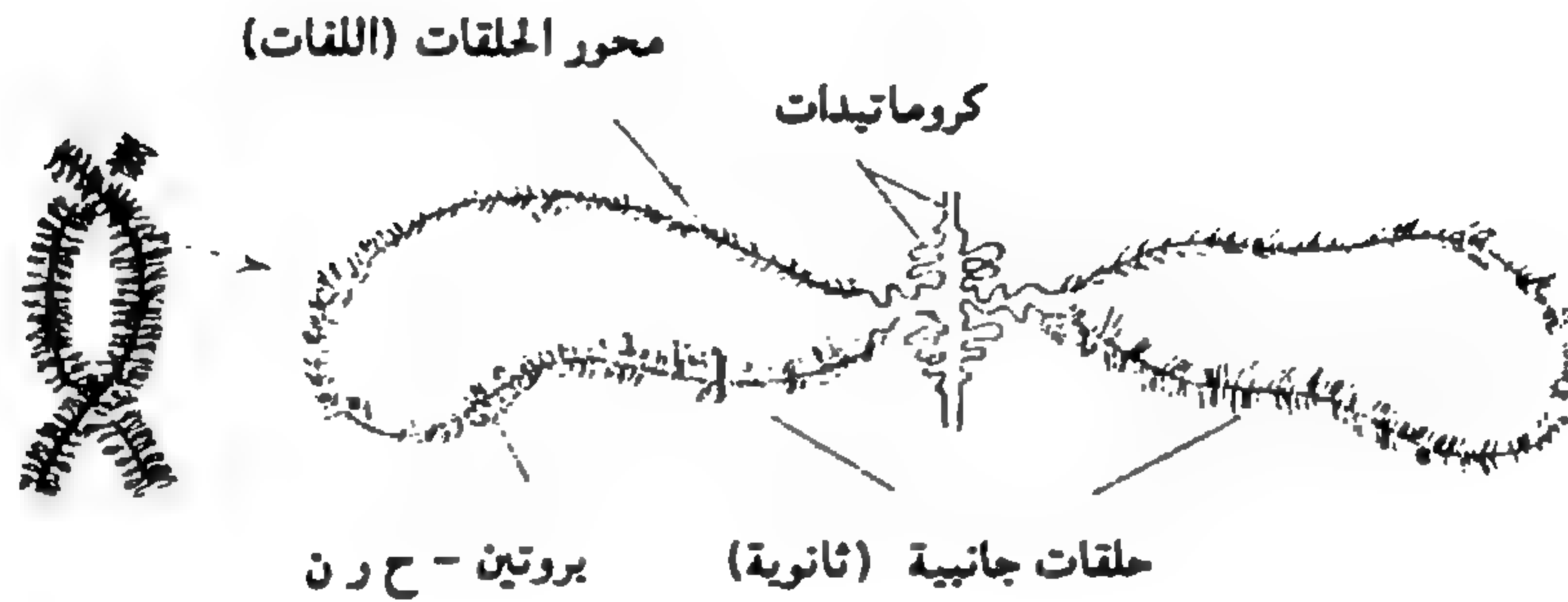
ونلاحظ في الروسوفيللا أن المناطق الهيتيروكروماتينية التي توجد حول السنترومير ( القطعة المركزية ) تلتحم ببعضها نتيجة لتناظرها لتكون كتلة واحدة تعرف بالكروموسنتر chromocentre تتصل بها النوية بواسطة خيط معين ( شكل ١٠٥ ) وفي بعض الحشرات ثنائية الأجنحة مثل كروموسومات الغدد اللعابية للكيرموناس نجد أنها منفصلة وغير مرتبطة ببعضها ولهذا فإن الكروموسنتر يكون غائبا . وعدم وجود الكروموسنتر في مثل ثنائية

الأجنحة يحتل أن يرجع إلى نقص المناطق المتناظرة حول السنترومير ( القطعة المركزية ) ولدداسة كروموسومات الغدد اللعابية أهمية كبرى بالنسبة للتعرف على التركيب الكروموسومى .

### طبيعة الكروماتين فى الكروموسومات البوليتينية :

Chromatin nature of polytene chromosomes

تتركب بعض شرائط الكروموسومات البوليتينية " الكروماتين الحقيقى " euchromatin ، بينما يتكون الآخر من " الكروماتين غير المتجانس " heterochromatin .



(شكل ١٠٢)  
الكروموسومات الفرجونية

ويعتبر كاسبرسون (١٩٥٠) أن مناطق الكروماتين الحقيقى تحتوى على حامض دى أكسى / بيونيو كليك ( ح ر ن ) DNA متحدا بالهستونات وتعطى تفاعلا قويا مع محلول " جمورى للفسفاتيز القاعدى " . وتعتبر هذه المناطق بأنها هى التى تحمل معظم الجينات أما المناطق الهيتروكروماتينية فإنها تحتوى ايضا على DNA ولكن كميته معرضة لتغيرات كثيرة حسب الاحوال الوظيفية أو المرضية . فمثلا وجد أن المعاملة بالتبريد تسبب نقصا فى ح ر ن (DNA) . ولهذا فإن هذه المناطق تصبغ بدرجات متفاوتة تبعا لكمية DNA . وتعرف هذه الظاهرة بالهتروبيكنزية الموجهة Positive heteropyknosis أما تلك المناطق التى تصبغ صبغا



خفيفا فتعرف بالهتروبيكتوزية السلبية Negative heteropyknosis للمناطق ، أما المناطق غير المصبوغة أو المناطق بين العقدية فهي سلبية لصبغة الفولجين والتي تدل على غياب حامض DNA .

**الكروموسومات الفرشائية ( فرشاة المصباح ) Lampbrush chromosomes :**

هذه الكروموسومات أكثر طولا من الكروموسومات البوليننتية . وتشاهد في خلايا أم البويضات أثناء الانقسام الإختزالي الأول . وتتميز هذه المرحلة بأن عملية النسخ تبلغ مداها في هذا الوقت ويتكون كل كروموسوم في هذه الكروموسومات من محور وسطى يحمل العديد من الفروع الجانبية ( شكل ١٠٣ ) ويكتسب الكروموسوم شكل فرشاة الأنبوبة أو فرشاة المصباح . وترجع زيادة نمو هذا النوع من الكروموسومات إلى زيادة حجم الكرومونيومات .

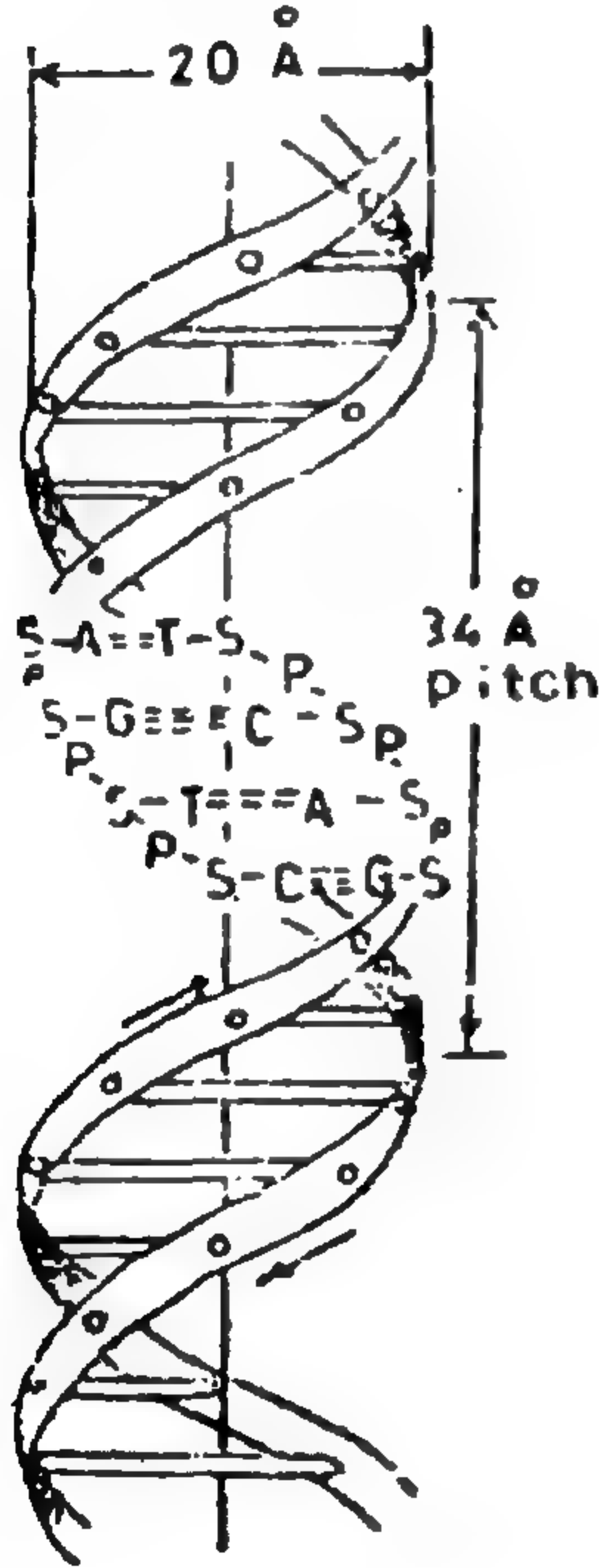


## الفصل السادس عشر

### التركيب الكيميائي والجزيئي للنواة

#### CHEMICAL AND MACROMOLECULAR ORGANIZATION OF THE NUCLEUS

تعتبر وظيفة النواة من زاوية التركيب الكيميائي والترتيب الجزيئي أساسا لحقل جديد من الدراسات يعرف " بالوراثة الجزيئية " molecular genetics وهذه الحقول الجديدة ( الفسيولوجيا النووية والوراثة الجزيئية ) تبحث عن الكيفية التي تنظم بها الأنشطة الخلوية وفي هذا المجال ، فإن الباحثين يركزون اهتماماتهم على دور الأحماض النووية في العمليات الوراثية .



(شكل ١٠٣)

الحلزون المزدوج لمادة ح د ن

#### دراسة كيمياء نواة الخلية

: Cytochemistry of the nucleus

عند دراسة البناء الكيميائي للنواة يتبع عادة منهاجان رئيسيان وهما :

(١) وسيلة الكيمياء الحيوية التي تعتمد على فصل عدد كبير من الأنوية لكي يسمح ذلك بتحليلها باستخدام الطرق الكيميائية الحيوية .

(٢) الطرق السيتولوجية والتي تستخدم فيها الطرق السيتوفوتومترية والطرق السيتوكيميائية والوسائل الإشعاعية .

ويتبين من هذه الدراسات أن النواة تتكون من تراكيب كيميائية معقدة من أهمها البروتينات النووية . وتنتج البروتينات النووية من اتحاد الأحماض النووية ح ر ن RNA ،



ح د ن DNA ) بالبروتين ويشتمل الجزء البروتيني على العديد من المكونات مثل البروتامين القاعدى والهستونات بالإضافة الى العديد من البروتينات الحامضية والتي تعرف بالبروتينات اللاهستونية non-histone proteins .

وعلى ذلك يتلخص التركيب الكيميائي للنواة فيما يلى :

١ - حامض دى أكسى ريبونوكليك - ح د ن (DNA)

٢ - حامض ريبونوكليك ( ح ر ن ) (RNA)

٣ - البروتينات القاعدية : بروتامين وهستونات protamine and histones

٤ - البروتينات اللاهستونية أو البروتينات الحامضية ( بقايا البروتين وكروموسامين والإنزيمات )

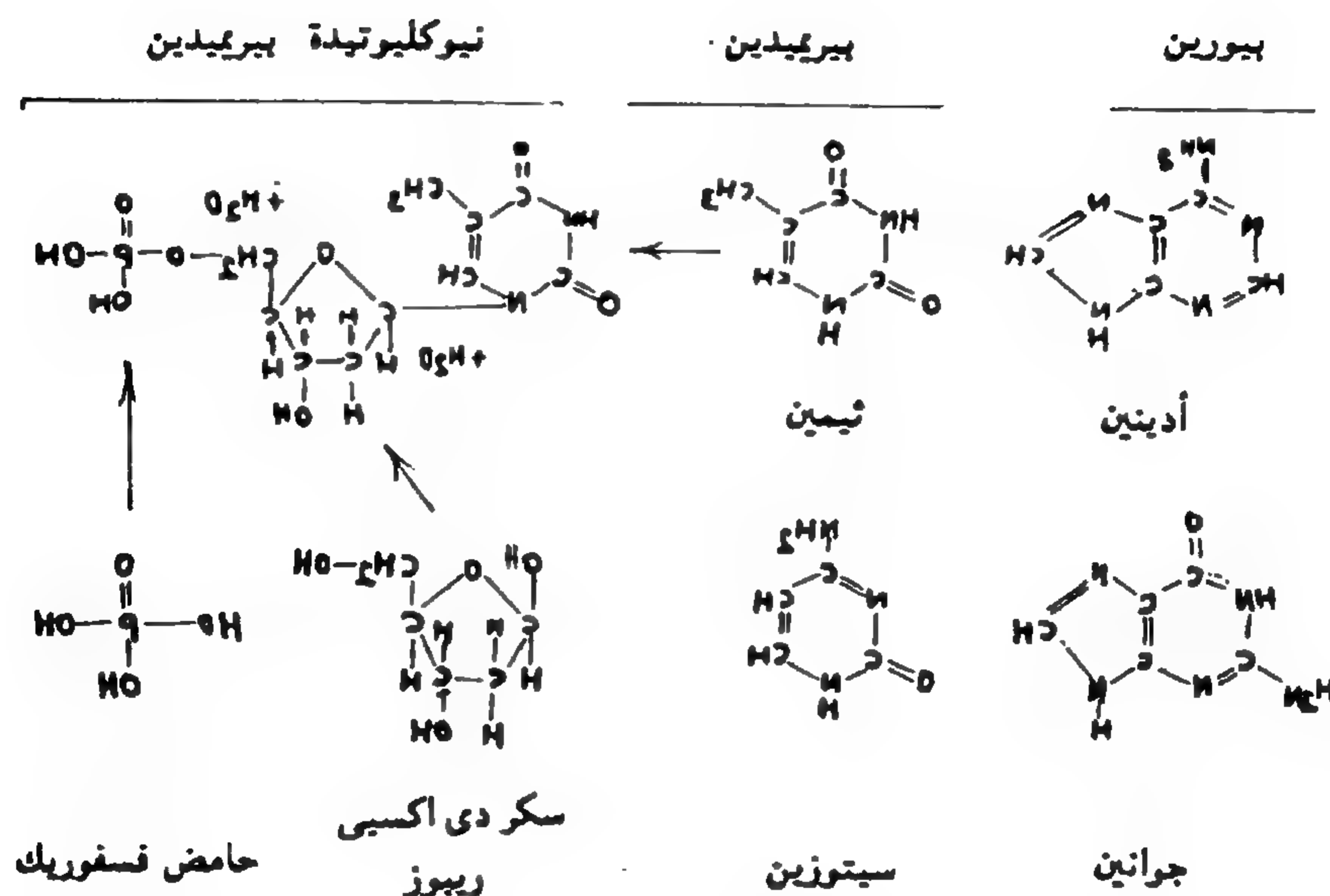
none-histone proteins (residual protein-chromosamin and enzymes)

٥ - محتويات نووية اخرى other nuclear inclusions

١ - حامض دى أكسى ريبونوكليك (DNA)

هذا الحامض له تركيب كيميائى معقد ويتكون من عدد كبير جدا من الجزيئات ، وكل جزيء عبارة عن سلسلتين تلتفان حول بعضهما التفافا حلزونيا مزدوجا وتتكون كل سلسلة من وحدات او نيكلوتيدات nucleotides متتالية . وتتكون النيوكليوتيدة ( شكل ١٠٥ ) من سكر خماسى (pentose sugar) دى زكسى ريبوز deoxyribose يرتبط بمجموعة فوسفات من جهة ويتصل من الجهة الأخرى بقاعدة نيتروجينية nitrogenous base (بوريدين او بيريميدين ) purine or pyrimidine . وترتبط النيوكليوتيدات بعضها البعض بواسطة ارتباط السكر الخماسى لنيكلوسيددين متتابعين ( اتحاد بين السكر الخماسى بقاعدة نيتروجينية ) بواسطة رباط فوسفاتى . وتشتمل النيوكليوتيدات المختلفة التى تدخل فى تركيب DNA على أربع قواعد نيتروجينية هي : الأدينين (A) adenine والجوانين (G) guanine وهما ينتميان الى مجموعة البيورين . والتيمين (T) thymine والسيتوزين

cytosine (C) وهى تنتمى الى مجموعة البيريميدين ( شكل ١٠٥ ) ومجموعة البيريميدين أحادية الحلقة والاستدارة monocyclic ( بينما البيورين ثنائى الاستداره dicyclic بمعنى أنها تتكون من حلقتي سداسيتين . وتختلف نسبة قواعد البيورين إلى قواعد البيريميدين في جزيئات ح د ن DNA المختلفة على أن كمية البيورين تتساوى دائما مع كمية البيريميدين أى أن  $(A + G = T + C)$  .



( شكل ١٠٤ )  
الوحدات البنائية للأحماض النووية

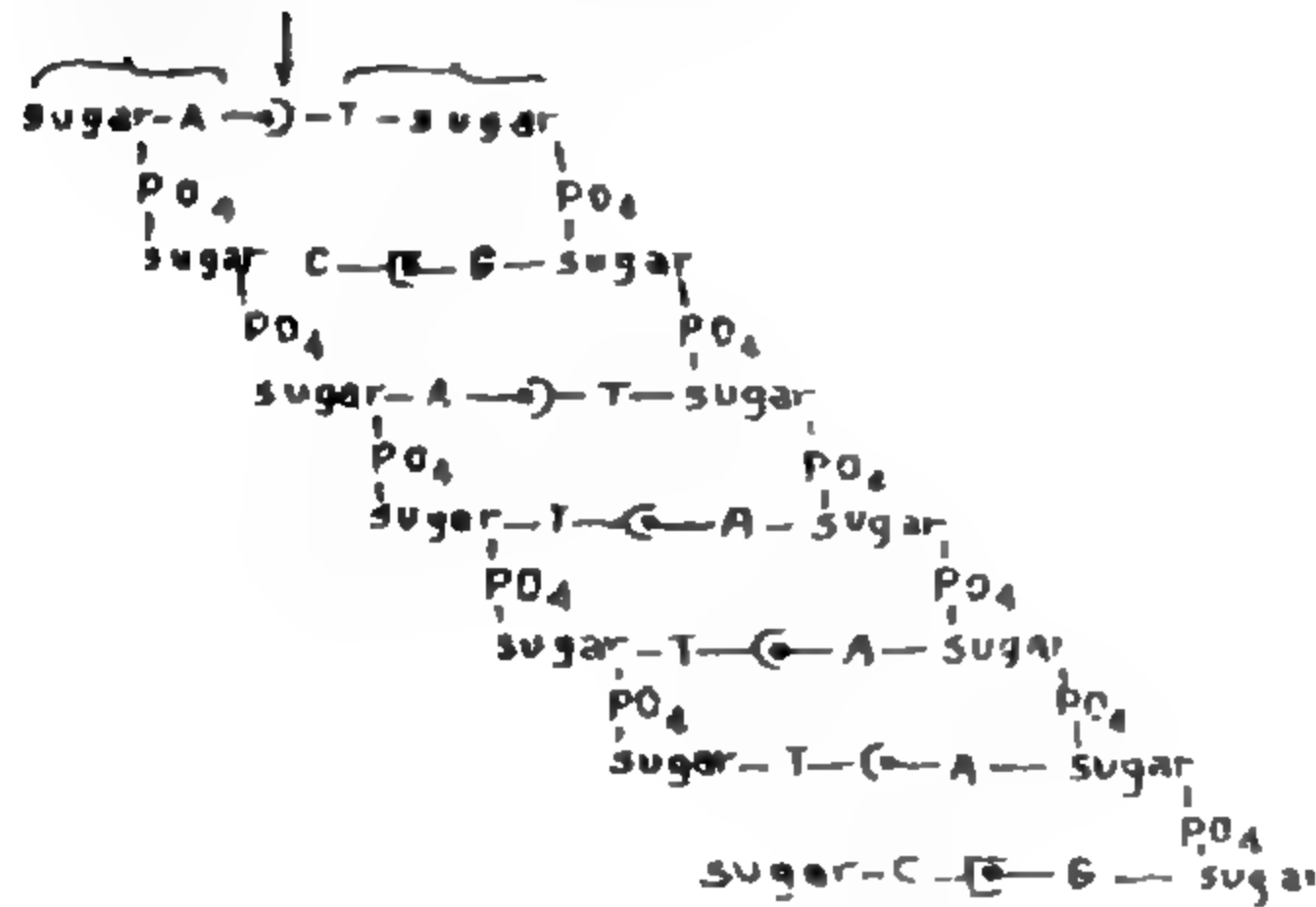
وعلاوة على ذلك فإن كمية الأدينين تتساوى مع كمية الثيمين في جزيء DNA ( أى أن  $A = T$  ) وأبضا فإن الجوانين والسيتوزين يكونان متساويين (  $G = C$  ) .

( رسم الجزيئات DNA )

وترتبط كل من سلسلتى جزيء DNA ببعضها البعض بواسطة ارتباط هيدروجيني

hydrogen bond بطريقة خاصة تسمح بان كل (A) على سلسلة ترتبط مع (T) على السلسلة الأخرى بينما كل (G) ترتبط مع (C) ( شكل ١٠٥ ) . ولهذا فإن السلسلتين المكونتين لحامض دى أكسى ريبونيكليك DNA تكونان متتامتين لبعضهما البعض complementary strands .

#### الخيط الثانى الخيط الأول



(شكل ١٠٥) جزء من ح د ن

وتعطى الدرجة العالية للبلمرة فى DNA والتتابع المتباين للقواعد الأربعة على طول سلسلة DNA عددا كبيرا من جزئيات DNA مختلفة التركيب . ولهذا فإن عددا هائلا غير عادى من المعلومات الوراثية يمكن الحصول عليه نتيجة هذا التنظيم . ويعتبر DNA هو الشفرة الوراثية genetic code حيث انه مسئول مسئولية رئيسية عن تحديد ونقل الصفات الوراثية . وحيث ان كلا من حامض الفوسفوريك

والسكر الخماسى يتواجدان بصورة تكرارية ثابتة فى ح د ن DNA فإن المعلومات تشفر coded فقط عن طريق تتابع الأربع قواعد ( أدينين - وحوانين وسنوزين والثيمين ) . ولذلك فإن " القاموس الوراثى " له لغة واحدة ذات أربعة أحرف .

#### استنساخ أو ازدواج ح د ن : Deplication of DNA

يحدث ازدواج جزئيات DNA أساسا مصاحبا لانقسام الخلية ، وفى عملية الإنقسام الميتوزى يلاحظ ان كمية DNA فى كل نواة من الأتوية الناتجة فى هذه العملية تكون متساوية . ويرجع هذا إلى أن جزئيات DNA مرتبة على المستوى الطولى للكروموسومات وانها تنشط طوليا مع انشطار الكروموسوم كذلك من المعروف أن الأتوية الناتجة من عملية الإنقسام الإختزالى يحتوى كل منها على نصف كمية DNA التى توجد فى النواة المزدوجة وذلك لأن كلا منها يحتوى على نصف عدد الكروموسومات .

وفى بداية الانقسام الميتوزى يحدث أن يتكثف DNA إلى خيوط كروماتينية ملتفة . ومن الواضح أن الخطوة الرئيسية فى هذه العملية هى ازدواج محتوى DNA فى النواة أولا .



ويعتقد أن هذا الازدواج يحدث قبل الانشقاق المرنى للكروموسومات . ومن المؤكد أن جزيئات DNA تزود داخل الكروموسومات قبل عملية انشطار الكروموسومات كما ذكرنا انفا ، والمعروف أن جزيء ح د ن يتكون من شريطين ملتفين حول بعضهما التفافا حلزونيا مزدوجا . وهذه الحلزونات ترتبط بعضها ببعض بأربطة ايدروجينية بين النيكليوتيدات بطريقة تسمح بأن يرتبط الجوانين (G) فى سلسلة بالرباط الايدروجينى بالسيتوزين (C) فى وحدة اخرى .

وتبدأ عملية الاستنساخ أو الازدواج بفك التفاف السلسلتين المتكاملتين لجزيء DNA عن بعضهما وبعد ذلك .تعمل كل سلسلة كدليل نهجى template لانتاج سلسلة متممة لها واثناء تكوين السلسلة الجديدة فإن (A) ستصبح مقابلا (T) فى السلسلة القديمة و (C) مقابلا (G) والعكس صحيح . وفى نهاية هذه العملية يتكون جزيئان من DNA ، ويحتوى كل جزيء منهما على سلسلة قديمة old strand وأخرى جديدة التكوين new strand ، وهى متممة للسلسلة القديمة . وبهذا يصبح كل جزيء مكونا لكروماتيدة واحدة ، وتنفصل الكروماتيداتان عن بعضهما البعض ليكونا كروموسومين آخرين ويجب ملاحظة أن ازدواج DNA ليس متطلبا لانقسام الخلية لأنه فى بعض الحالات يتم حدوث الازدواج بدون أن يحدث انقسام للخلية ولكن العكس ليس صحيحا بمعنى أن انقسام الخلية لا يحدث دون ازدواج DNA مسبقا .

(الخيط) الشريط الثاني

الشريط الأول

في جزئ ح د ن

في جزئ ح د ن

الأصلي

الأصلي

A —●—  
C —■—  
A —●—  
T —(—  
T —(—  
T —(—  
C —■—  
C —■—  
T —(—  
A —●—  
A —●—  
A —●—  
G —■—

)—T  
■—G  
)—T  
●—A  
●—A  
●—A  
■—G  
■—G  
●—A  
)—T  
)—T  
)—T  
]—C

(شكل ١٠٦) الخطوة الأولى في تناسخ ح د ن

الشريط الثاني

الشريط الأول

في جزئ ح د ن

في جزئ ح د ن

الأصلي

شريط جديد

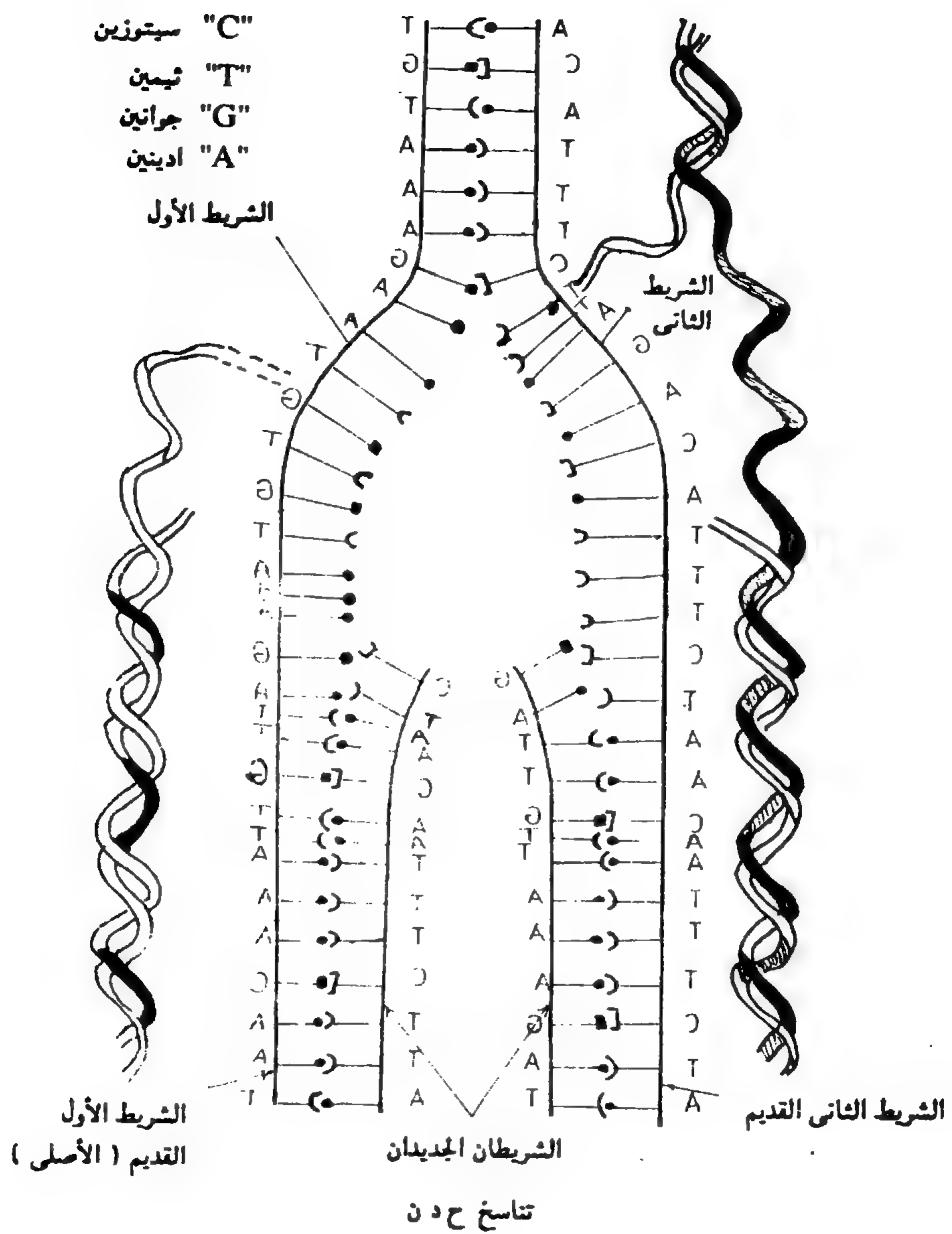
شريط جديد

الأصلي

A —●— T  
C —■— G  
A —●— T  
T —(— A  
T —(— A  
T —(— A  
C —■— G  
C —■— G  
T —(— A  
A —●— T  
A —●— T  
A —●— T  
G —■— C

A —●— T  
C —■— G  
A —●— T  
T —(— A  
T —(— A  
T —(— A  
C —■— G  
C —■— G  
T —(— A  
A —●— T  
A —●— T  
A —●— T  
G —■— C

(شكل ١٠٧) الخطوة التالية في تناسخ ح د ن



(شكل ١٠٨) شكل يوضح خطوات تناسخ جزئي ح د ن



## ازدواج الكروموسوم و DNA : Chromosomal duplication

يرى فى المرحلة التمهيدية لأول مرة تكثف وتجمع المواد الكروماتينية على هيئة خيوط ملتفة وحلزونية هى الكروموسومات . ومن المتفق عليه عامة أن الكروموسوم الذى يرى بالمجهر الضوئى هو فى حد ذاته تركيب مزدوج ، بمعنى أنه يحتوى على شريطين متكافئين يطلق عليها الكروماتيدات . والكروماتيدات هى التراكيب التى ستنفصل عن بعضها البعض كما سبق ذكره . وفى بعض الحالات اقترح أن كل من هذه الكروماتيدات هو نفسه مزدوجا مكونا انصاف كروماتيدات ، والتى يستنسخ كل واحد منها بحيث يحتوى كل حلزون كروماتيدى سلسلة جديدة وسلسلة قديمة من DNA .

وتفاصيل عملية الاستنساخ الحقيقية ليست معروفة حتى الآن . ومن رأى بعض العلماء أن السلاسل الملتزمة التى عادة ما تكون ملتفة حول بعضها البعض يجب أن تدور عند نهاياتها الحرة لكى تنفصل عن بعضها قبل بداية عملية الاستنساخ . ويرى فريق آخر من العلماء أن السلاسل الملتزمة تنكسر وتنقطع عند كل ثنية وبذلك تنفصل عن بعضها ثم تستنسخ . وقد حور بعض العلماء الرأى الأول حديثا وأعلنوا أن عملية الازدواج جزئى DNA قد تحدث باستمرار بدون انفصال السلاسل عن بعضها . وقد تبدأ عملية الازدواج عند إحدى النهايات ، وبهذا تنفجر السلسلة وتمد الطاقة اللازمة لدوران السلسلتين الممتدتين الأخرتين .

ونظرا للدور الذى يقوم به DNA فى تخزين ونقل المعلومات التى تستخدم فى تكوين المواد البروتينية فانه يبدو أن التوالى النوعى للأربع قواعد على امتداد التركيب الطولى لجأى DNA هو الذى يمد بالشفرة اللازمة لتحديد تركيب البروتين ولهذا فإن كمية  $2.0 \times 10^9$  جرام من DNA فى بيضة الإنسان المخصبة كافية لتعيين الصفات الوراثية للشخص البالغ .

والسؤال الآن هو كيف تعطى المعلومات بواسطة DNA أو بمعنى آخر ما هى طبيعة الشفرة الوراثية ؟

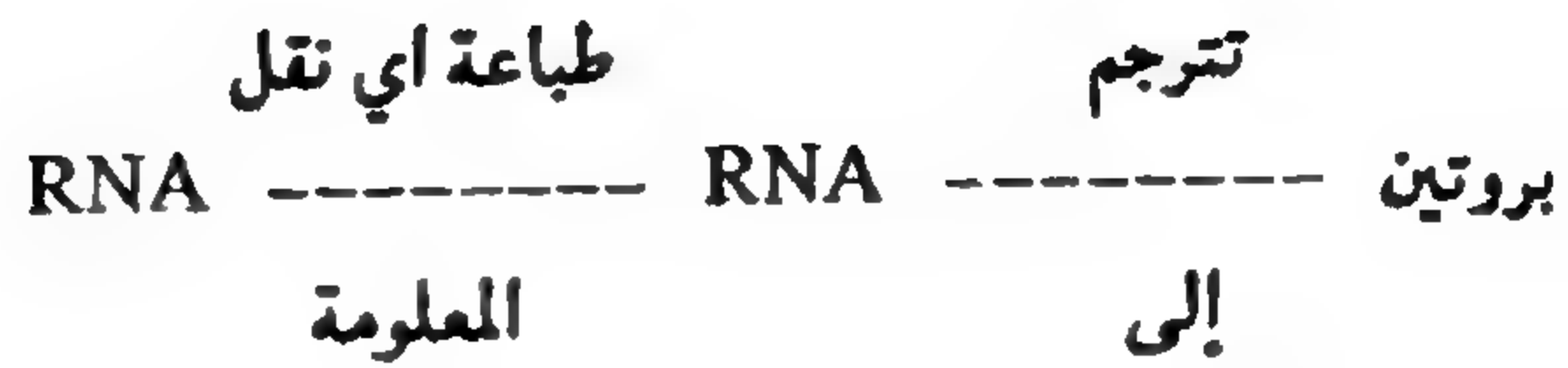
من المعلوم جيدا ان المعلومة يعبر عنها بالكلمات وأن هذه الكلمات تتكون من أحرف . والكلمات تعبر عن معلومات متباينة . ويرجع ذلك الى اختلاف الأحرف المكونة لها . وليس هذا فقط ولكن يحدث هذا أيضا بنفس حروف الكلمة عندما ترتب هذه الأحرف على تواليات

مختلفة . فتعطي الكلمة الواحدة معان مختلفة . فعلى سبيل المثال فإن الأحرف R, T, A, يمكن استعمالها على الوجه التالي RAT, ART, TAR ... فثلاثة الاحرف هذه تم ترتيبها لتعطي كلمات مختلفة ذات معان مختلفة . وفي حالة جزيء DNA فانه يلاحظ أنه يتكون من ألف باء مكونة من أربعة أحرف كيميائية هي الأدينين (A) وجوانين (G) وستيوزين (C) ثم اليثمين (T) . هذه الأحرف تكون كلمات معينة تنقل معلومات متباينة . ومن المستطاع كتابة وتركيب هذه الكلمات في جمل طويلة . ويتضح هذا جليا في اختراع البرق منذ وقت بعيد حينما وجد انه من السهولة نقل أى لغة معروفة بواسطة شفرة ذات حرفين وهذان الحرفان هما " النقطة " و " الشرطة " ( . - ) والتي يمكن تكوين تراكيب مختلفة مهما بقدر المعلومات المتباينة والتي يمكن نقلها ببسر وسهولة من مكان الى اخر . وهذه التراكيب المختلفة تؤدي العمل الكامل لحروف اية لغة معروفة . وحيث ان المعلومات الوراثية تعبر عن نفسها في النهاية على هيئة مواد بروتينية ( وحيث ان البروتينات تتكون من حوالى ٢٠ حامض امينى ، فانه يلزم شفرة لا تزيد عن عشرين كلمة ؛ وكل كلمة منها تحدد نوع الحامض الامينى وهناك كمية من الابحاث التى اجريت فى هذا المجال على بكتريا نوروسبورا *neurospora* التى اوضحت ان كل جين ( قطعة من DNA ) يملئ نوعية معينة من الانزيمات ومن هذا فقد اقترح ان هناك علاقة مباشرة بين الجين والبروتين وقد وجد ان النودوسبورا مكونة من بروتينات معينة وفي حالة الطفرات الناتجة منها عن طريق المعاملة باشعة اكس كانت غير قادرة لبناء بروتينات الا اذا اضيف الى الوسط إنزيمات معينة . وهذا يوضح ان جين معين قد اختفى وكان ضروريا لتنشيط انزيم معين .

## ٢ - حامض الريبونيكليك ( ح ر ن ) RNA

يشبه RNA فى تركيبه DNA فيما عدا تواجد سكر الريبوز وقاعدة البوراسيل فى RNA بدلا من الذى اكسى ريبوز والثيمين فى DNA . ولهذا فإن RNA ، DNA يختلفان عن بعضهما ليس فقط فى بناء السكر الخماسى ولكن ايضا فى احدى قواعد البيراميدين . وهناك اختلاف ثالث وهو أن RNA يتكون من سلسلة واحدة ( ما عدا فى بعض الحالات مثل الفيروسي ) بينما يكون DNA مزدوج السلسلة كما أن RNA يتكون داخل النواة مستخدما سلسلة واحدة فقط من DNA كدليل نهجى .

ويلعب RNA دوراً أساسياً في تمثيل المواد البروتينية في الخلية الحية للجسم بينما يتحكم DNA في عملية تمثيل المواد البروتينية بطريقة غير مباشرة ويحدث هذا كما يلي :  
يحمل جزيء DNA بعض المعلومات الوراثية المحددة التي تنتقل إلى جزيء RNA ( التي يحملها إلى السيتوبلازم ) ويلي هذا أن تترجم المعلومات الوراثية إلى مواد بروتينية ( بمعنى تمثيل البروتينات ) .



**الأنواع الأساسية لحامض الريبونيكليك ح ر ن : Types of RNA :**  
وهي ثلاثة أنواع :

**أ - حامض الريبونيكليك الريبوسومي (r RNA) Ribosomal RNA**

يوجد هذا النوع في الريبوسومات التي تكون ويعتبر في السيتوبلازم ويتكون RNA الريبوسومي في النواة ويحتل أن يتركب في النواة التي تمثل موضع RNA الريبوسومي . ويتواجد RNA الريبوسومي في حجمين مختلفين ويكون الجزء الأكبر من حامض الريبونيكليك في سيتوبلازم الخلية ( ٧٥٪ - ٨٥٪ من مجموع RNA ) .

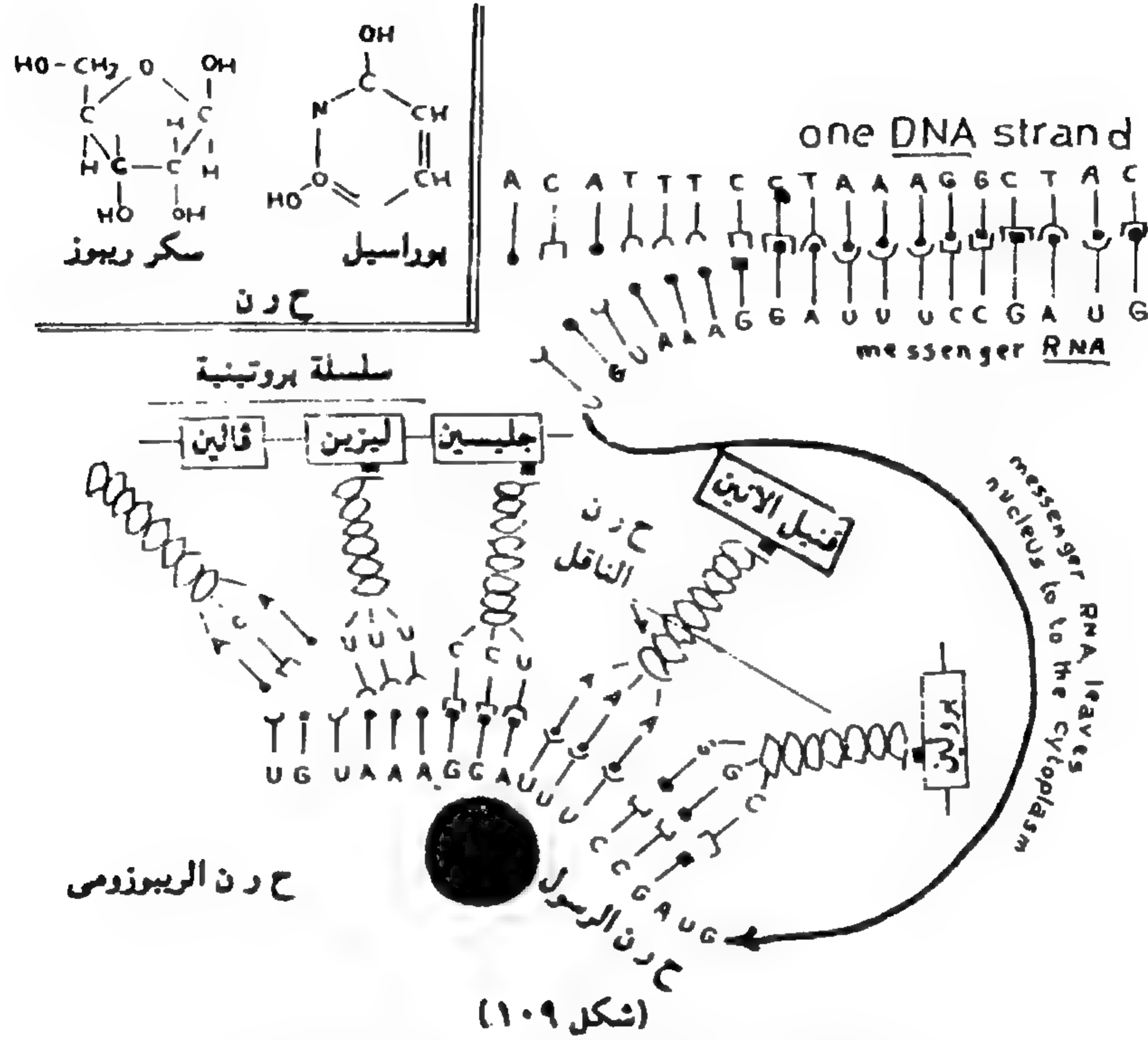
**ب - حامض الريبونيكليك الرسول : Messenger RNP (mRNA)** ويتكون في النواة كجزء من حامض الريبونيكليك النووي غير المتجانس ويتركب من جزيئات مختلفة الأحجام . وترجع تسميته " الرسول " إلى الوظيفة التي يقوم بها في نقل المعلومات الوراثية من جزيء RNA في النواة وحملها إلى الريبوسومات حيث تتم ترجمتها إلى أنواع البروتين المختلفة وباستطالة جزيء RNA تستطيل الرسالة التي يحتلها ، وبالتالي يستطيل خيط البروتين التي يتم تكوينها في تلك الحالة .

**ج - حامض الريبونيكليك الناقل : Transfer RNA (tRNA)** وهو ذو وزن جزيئي منخفض ويتكون كل منها من حوالي ٦٧ نيوكليوتيد .



## تمثيل البروتين ( تكون البروتين ) : Protein synthesis

تدل التجارب المتباينة التي أجريت في حقل البيولوجيا الجزيئية على أن RNA يحتوى على المعلومات الضرورية لتكوين البروتين في المادة الحية .



شكل يوضح دور الاحماض النووية في تكوين البروتينات

هذه العملية يتوسط فيها RNA الذى يتكون من RNA فى النواة والذى يدفعه إلى 'السيترولازم' حيث يتكون الجزء الأكبر من البروتين ويتضح من الشواهد الهستوكيميائية والتصوير الأتوراديوجرافى - باستخدام النظائر المشعة - أن ازدواج RNA وتكوين RNA فى النواة يحدث فى أوقات مختلفة أثناء دورة انقسام الخلية ؛ فخلال فترة ما يعمل RNA كدليل منهجى لتكوين جزئ مزدوج من RNA وأثناء فترة أخرى يعمل كدليل منهجى لتكوين جزئ من RNA .

وحامض الريبونيكليك الرسول mRNA الذى يتكون على طول جريء واحد فقط من جزئ RNA المزدوج السلسلة يحمل معلومات من هذا الـ DNA الى مكان تكوين البروتين أى أن RNA الرسول يعمل على حمل ونقل الوصف الداخلى لتتابع القواعد الفيتروجينية المنتظمة على طول جزئ RNA بواسطة كلمات ذات ثلاثة أحرف (A,G,C,) ثم الحرف U (هوراسيل) . ويشار عادة إلى تتابع القواعد النيتروجينية على أنها المعلومات الوراثية .

ويعمل النوع الآخر من RNA ، وهو حامض الريبونيكليك الناقل (tRNA) على تحديد انواع الاحماض الامينية المختارة لتكوين الروتين . ويتكون (t RNA) أيضا فى النواة من RNA ويخرج من النواة إلى مكان تكوين الروتين فى الستوبلازم أى الريبوسومات . وهذه الريبوسومات عبارة عن جسيمات دقيقة تحت مجهرية توجد فى جميع الخلايا التى تقوم بتكوين البروتينات بدءا من خلايا البكتريا حتى الخلايا التى تكون أعضاء الثدييات . وهذه الريبوسومات إما أنها تلتصق بأغشية الشبكة الإندوبلازمية أو أنها توجد طليقة فى الستوبلازم وتبلغ أحجامها فيما بين ١٥٠ - ٢٠٠ أنجستروم فى اقطارها . وتحتوى على ٤٠٪ من حامض الريبوتيكليك RNA والذى يطلق عليه أحماض الريبونيكليك الريبوسومى rRNA . وتكون متحدة بالبروتينات ويتكون حامض الريبونيكليك الريبوسومى (rRNA) كذلك من حامض الريبوتيكليك DNA فى النواة ثم بعد ذلك ينتقل الى السيتوبلازم .

والمعروف أنه يوجد العديد من أنواع حامض الريبونيكليك الناقل tRNA فى المادة الحية ويوجد نوع مميز من tRNA لكل حامض أمينى من الأحماض الأمينية العشرين التى توجد فى الطبيعة . والأنواع المختلفة من tRNA وهى تعمل بنفس الطريقة ، أى أن كل نوع يلتصق بالحامض الأمينى المقابل والخاص به والذى يصل إلى الخلية عن طريق الدم المتدفق أى انه يأتى عن طريق تكونه داخل الخلية وكل نوع من tRNA يتعرف على الحامض الامينى المعين عن طريق الكلمة ذات الثلاثة احرف ( ٣ قواعد نيتروجينية فى نهايته ) ثم يلتصق الحامض الأمينى به وبهذا ينتج حامض tRNA الريبونيكليك الناقل حامض امينى (AA) وتكفى ٢٠ كلمة ثلاثية الأحرف للتعرف على ٢٠ حامض أمينى . ويصل مركب ( الحامض بالبروتين ) tRNA-AA إلى الريبوسومات حيث تتقابل الشفرة ثلاثية الأحرف مع حروف الكلمات المقابلة

على طول جزيء mRNA حامض الريبونيكليك الرسول والذي يلتصق بدوره بالحامض الأميني المقابل . ومعنى آخر نستطيع أن نلخص كل هذه العملية كالتالى :

يتكون جزيء طويل من الحامض الرسول mRNA من جزيء حامض DNA فى النواة ثم ينتقل mRNA إلى الريبوسومات فى السيتوبلازم وهناك يستقر mRNA فى وسط بركة من عشرين حامض أميني يحمل كل منها علامة مميزة الحامض للعامل tRNA ( كلمة ثلاثية الحروف ) فى نهايته . ويقوم الحامض الرسول mRNA باستدعاء الكلية ثلاثية الحروف الخاصة بالحامض الناقل tRNA الذى يكون ملتصقا بحامض أميني معين . وهذا الحامض الناقل RNA الخاص يلائم الكلمة ثلاثية الحروف المقابلة والموجودة على mRNA . فمثلا حامض ناقل tRNA ذو كلمة ثلاثية الأحرف ACA خاصة ومعينة لحامض الأميني الفالين valine التى تلائم وتناسب الكلمة ثلاثية الحروف UGU على الحامض الرسول mRNA . والحامض الناقل tRNA ذو الكلمة ثلاثية الحروف UUU خاصة ومعينة للحامض الأميني الليسين Lysine تلائم وتناسب الكلمة ثلاثية الحروف AAA على الحامض الرسول mRNA الخ .

وعلى هذا فإن الأحماض الأمينية تنتظم تبعا لتتابع القواعد النيتروجينية على طول الحامض الرسول mRNA والذي هو أصلا مطبوع او منقول transcribed من DNA فى النواة . وبعد إتمام هذا التنظيم وبعد إتمام تكوين الجزيء الكبير للبروتين فإنه من المحتمل أن يتكسر ويتهدم كل من حامض الريبونيكليك الناقل والرسول . ومن ثم يتضح أن الأنواع المختلفة من جزيئات البروتين يمكن أن تتكون معتمدة على عدد وانتظام الأحماض الأمينية التى تشترك فى هذه العملية . وما يستحق الذكر أن جميع هذه العمليات تنشأ وتنشط بواسطة العديد من الإنزيمات الخاصة بالتمثيل البروتيني . وقد أعلن العالم هومارد ( ١٩٦٢ ) أن الأحماض الأمينية المكونة لجزء واحد من الهيموجلوبين تستطيع أن ترتب وتنظم نفسها كل بجانب الآخر فى حوالى ٩٠ ثانية .



### ٣ - البروتينات القاعدية Basic proteins

#### البروتينات والهستونات Protomines and histones

البروتامينات عبارة عن مواد بروتينية بسيطة غنية بالارجينين ( حامض امينى قاعدى ) وهى تتواجد أساسا فى الحيوانات المنوية للأسماك ، وتتميز هذه البروتامينات بأنها ذات وزن جزيئ منخفض ( حوالى ٤٠٠٠ دالتون ) .

والهستونات ذات وزن جزيئ يتراوح بين ١٠.٠٠٠ و ١٨.٠٠٠ وتتواجد فى جميع أنوية النبات والحيوانات العليا . وتحتوى الهستونات على نسبة عالية من الليسين lysine والارجينين arginine كما أنها تحتوى على الهستيدين histidine وبقايا قاعدية أخرى .

وترتبط البروتامينات والهستونات بإحكام بحامض DNA بواسطة رباط ملهى . وقد تم فصل العديد من الأجزاء الهستونية فى عملية التجزئة مما يدل على أن هناك أنواعا مختلفة من الهستونات . ويرى كثير من الباحثين أن الهستون المرتبط ارتباطا متينا بحامض DNA فى بعض مراحل دورة الخلية ربما يقوم بتنظيم النشاط الجينى . وتقوم الهستونات أيضا بوظيفة " لاصق الكروموسومات " التى تربط الوحدات الجينية فى DNA . وعلاوة على ذلك فإن الهستونات فى مركبات الهيوكلبيوبروتينات تستطيع أن تقى وتحمى DNA من الهدم الإشعاعى

#### ٤ - البروتينات اللا هستونية Non-histone proteins

هذه البروتينات - التى لا تنتمى إلى الهستونات - هى البروتينات الحامضية . وتتواجد البروتينات الحامضية بكميات كبيرة جدا فى النواة البينية كما أنها تتواجد فى المواد الكروماتينية . وبعض هذه البروتينات غير الهستونية قد ترتبط بحامض DNA والبعض الآخر غير مرتبط بهذا الحامض مثل " البروتينات المتبقية " residual proteins وهذه البروتينات غير الهستونية غير متجانسة تماما وهى مميزة للأنسجة والانواع المختلفة ، وهى تتكون اثناء دورة الخلية بخلاف الهستونات فى السيتوبلازم ثم بعد ذلك تنتقل البروتينات داخل النواة . والبروتينات المضفرة النووية phosphorylated protein (هى من المكونات الهامة للبروتينات الحامض ) تتعرض إلى عملية الفسفرة وفقد الفسفور ، وهى تتواجد فى الكروماتين الحقيقى

( الكروماتين النشط ) ومن المحتمل جدا أن تقوم البروتينات الحامضية بدور هام فى عملية تنظيم الجينات .

#### الإنزيمات النووية Nuclear enzymes :

لا تحتوى نواة الخلية على اية إنزيمات تنفسية أساسية مثل السيتوكروم اوكسيديز Cytochrome oxidase والسكيتك دى هيدروجينيز Succinic dehydrogenase ولكن توجد بعض الإنزيمات المسكرة للجليكوجين مثل الالدوليز وثلاثى فوسفات الجلسرالدهين دى هيدروجين 3-phosphoglycerate dehydrogenase ووجود هذه الإنزيمات تدل على انه يحدث فى النواة ايض تنفس غير هوائى دائما مستخدما تكسر وتميؤ الجليكوجين كمصدر رئيسى للطاقة . وبالرغم من هذا فإن الأنوثة المعزولة ( أو المفصولة ) تستطيع أن تكون إنزيم ثلاثى الفوسفات بعملية هوائية .

وأهم الإنزيمات النووية هى الإنزيمات التى تشترك فى تمثيل الأحماض النووية . وعلى ذلك فإن إنزيم DNA polymerase يكون DNA مستخدما الأساس ( قطعة قصيرة من DNA ) وثلاثى فوسفات النيكلوتيدات الأربعة ( كومبرج ١٩٥٧ ) ويستطيع إنزيم RNA بوليميريز أن يكون RNA الرسول مستخدما DNA كنمط نهجى ( ستيفن ١٩٦١ ) . ويوجد فى النواة بعض الإنزيمات مثل أدينوزين داي امينيز Adenosine diaminase والنيوكليوسيد فوسفوريليز nucleiside phosphorylase والجوانيز guanase التى تختص بأيض النيوكليوسيد . وقد توجد بعض الإنزيمات مثل كاتاليز الارجينيز catalase arginase مركزة فى بعض الأنوثة وتغيب فى البعض الآخر .

#### ٥ - بعض المكونات النووية الأخرى Other nuclear components

بعد أن درست وفصلت المواد الدهنية من الأتربة المفصولة وجد أن كميتها منخفضة فى النواة غير أن هذه الكمية تزداد فى الخلايا السرطانية ، فمثلا كمية الكولسترول الحر قد تصل زيادتها أكثر من ٤٥ مرة من الحالة العادية . كما تحتوى النواة على بعض الأملاح . كما وجد أن رماد النواة يشتمل على الفوسفور والبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والمنجنيز .

## النوية The nucleolus

### تركيبها وكيمياءها : Structure and citochemistry

تظهر النوية تحت المجهر الضوئي عامة متجانسة التركيب بالرغم من وجود جسيمات صغيرة أو فجوات تشاهد في بعض الأحيان. وقد تتحرك هذه الفجوات في اتجاه حافة النوية مكونة منطقة راتقة . وغالبا ما تلتصق النوية بالغشاء النووي ويبدو أن بعض هذه الفجوات ومواد الجزء المعتم قمر منها إلى السيتوبلازم . والنوية سالبة بالنسبة لتفاعل فولجن مما يدل على أنها لا تحتوي على ح د ن (DNA) ولكنها تحتوي على ح ر ن (RNA) . وقد تحاط النوية بمواد كروماتينية موجبة الفولجين والذي يمثل مناطق هتيروكروماتينية heterochromatin الكروموسوم أو أكثر من الكروموسومات التي تندمج مع النوية .

### التركيب الدقيق Ultrastructure :

أظهرت الدراسات التي أجري بالمجهر الالكتروني أنه يوجد دخل النوية تراكيب معينة . ففي بعض الخلايا نجد أن النوية بها تركيب ليفي منتظم وفي البعض الآخر تظهر النوية راتقة ومتجانسة نسبيا على أنه في معظم الأنوية يمكن تمييز المحتويات التالية : (أ) بروتينات محبة granular proteins مكونة من جسيمات مستديرة متجمعة بإحكام يتراوح قطرها بين ١٥٠ - ٢٠٠ أنجستروم . وغالبا ما تتواجد بالقرب من الحافة (ب) جزء ليفي يتكون من ليفيات يتراوح طولها من ٥٠ - ٨٠ أنجستروم (ح) منطقة غير متبلرة أو محددة الشكل amorphous ذات كثافة الكتروني منخفضة و (د) كروماتين مرافق للنوية يوجد عادة حول النوية nucleolar-associated chromalin .

وقد شوهدت المواد النوية وهي قمر من النويات إلى السيتوبلازم في الخلايا الحية .

### دورة النوية أثناء انقسام الخلية : Cycle of nucleolus during cell division

اتضح من الدراسات السابقة أن النويات تختفي في بداية انقسام الخلية ( المرحلة التمهيديّة ) ثم تعود إلى الظهور في نهاية الإنقسام (المرحلة النهائية ) وترتبط كل نوية ارتباطا وثيقا بالكروموسومات وكل نواة تلتصق بأحد الكروموسومات ، وتعرف نقطة الالتحاد هذه بمنظمة النوية nucleolar organizer ويوجد على الأقل كروموسومان ( كروموسومات



موية ) ينتج كل واحد منها نوية واحدة تنشأ فى كل مرحلة نهائية من منطقة المنظم النووي على هيئة حبيبة سلبية الفولجن . وكل نوية تزداد فى الحجم ثم تندمج النويات المتقابلة فى كتلة واحدة وتبقى هذه متحدة حتى بداية المرحلة التمهيدية التالية حيث ترخذ النوية شكلها الكروي . وعندما يبدأ الغشاء النووي فى الإضمحلال فإن النوية تتحرر من الكروموسومات النووية ثم تختفى بعد ذلك . والمنطقة منظمة النوية فى الكروموسومات لها أهمية خاصة فى تنظيم البروتينات ومادة ح ل ن (RNA) الذى يوجد فى النوية . وتمشياً مع كوينارد ١٩٦٩ فإنه يرى أن المكون الثابت الوحيد للنوية هو حلقة ملتفة loop كروماتينية التى تكون ملتفة داخل المنطقة النووية للكروموسوم المقابل لهذه الشبة وتحتوى على معلومات وراثية خاصة بتكوين مادة النوية .

#### فصل النوية Isolation of the nucleolus :

أمكن فصل النويات من أمهات بيض بعض الحيوانات البحرية . وقد وجد أن النويات تحتوى على ٣ إلى ٥ ٪ ح ر ن (RNA) ، وأن المحتوى البروتينى للأنوية مرتفع كما أن المحتوى البروتينى الرئيسى يتكون من البروتينات الفسفورية وتوجد هستونات . كذلك يوجد تركيز مرتفع من الأرتوفوسفات فى النوية وهو يستخدم كمصدر لفسفور حامض (RNA) ( تاندلر وآخرون ١٩٦٢ ) . وتكون إنزيمات النوية من الفوسفاتيز الحامض ، النيوكليوسيد فوسفورليز ومجموعة إنزيمات DPN التى تقوم بعملية التكوين أو التمثيل .

#### وظائف النوية Nucleolar functions :

كان كاسبرش ( ١٩٣٩ ) أول من اقترح احتمال وجود علاقة بين النوية وتكوين البروتين ويتضح مما يلى أماكن بناء الأنواع المختلفة من RNA - حامض الريبونيكليك الرسول (mRNA) والحامض الناقل (tRNA) تتكون فى الكروموسومات . أما (rRNA) الريبوسومات فإنه يخرج من DNA ، ولكن فى منطقة خاصة ترتبط بالنوية حيث يوجد العديد من نسخ rRNA . وتبعاً لهذه النظرية فإن rRNA الذى يتجمع فى النوية قبل نفاذه الى اليتولازم . والمنظم النووى للكروموسومات يمكن أن يمثل الأماكن التى تختص فى البداية انتاج الريبوسومات السيتولازمية على نطاق كبير ، ولهذا فتواجد النويات الكبيرة فى الخلايا سريعة التمثيل يمكن تحليل ذلك على أساس أن النسخ كثيرة العدد من RNA الريبوسومى تلزم لتكوين البروتين .



## الفصل السابع عشر

### انقسام الخلية CELL DIVISION

أمكن لعلماء الحيوان والنبات من مشاهدة انقسام الخلية منذ القرن التاسع عشر . ويشتمل انقسام الخلية على انقسام النواة الذى يسبق انقسام السيتوبلازم . وقد ميز البيولوجيون نوعين من الانقسام فى الخلايا الجسمية وهما الانقسام المباشر والانقسام غير المباشر ، وتعتمد نوعية الانقسام تبعا لسلوك النواة .

### الانقسام غير المباشر أو الميتوزى MITOSIS

الانقسام الميتوزى أو الكاربيوكينيزس هو انقسام النواة إلى نواتين مستقلتين . والانقسام الميتوزى - الذى يشار اليه أحيانا بالانقسام النووي غير المباشر - هو الانقسام العام الذى يتم بطريقة منتظمة فى جميع الحيوانات والنباتات الحية . وهو عملية ديناميكية مستمرة ولكن للسهولة ولغرض الوصف والتعميم تقسم هذه العملية إلى أربعة مراحل أو أطوار هى : المرحلة التمهيديّة والاستوائية والانفصالية ثم المرحلة النهائية .

ولسهولة الوصف توضع مرحلة قبل الإستوائى بين المرحلة التمهيديّة والمرحلة الإستوائية ويقسم كل من المرحلة التمهيديّة والانفصالية والنهائية كل إلى قسمين .

#### ١ - المرحلة التمهيديّة Prophase stage :

فى معظم أنوية الطور البنى يكون " ثبات " fixability الكروموسومات صفر ، أى أنها غير ثابتة ، ولكن عند ابتداء الدور التمهيدي للانقسام نجد أن الكروموسومات أصبحت لها قدر من " الثبات " حيث تظهر على شكل خيوط رقيقة داخل النواة . وتكون هذه الخيوط ملتفة حول بعضها وتصبغ صبغا خفيفا بالأصباغ النووية المميزة . ويبدو الكروموسوم تحت القوة الكبرى للمجهر مكونا من سلسلة طولية من الجسيمات مختلفة الأبعاد ، وهى الكروموميرات chromomeres - التى تتصل ببعضها بخيط رقيق أخف صبغة منها ، والترتيب الطولى للكروموميرات فى كل كروموسوم ثابت وغير متغير . الكروموميرات المتجاورة لها ميل للتجمع مع بعضها أثناء عملية التثبيت ولذلك فإن حبيبة كبيرة واحدة هى التى ترى



والتي ليست فى الحقيقة سرى عديد من الكروموسومات .وتزداد الكروموسومات فى الحجم زيادة ملحوظة مع تقدم المرحلة التمهيدية . وفى نفس الوقت فإنها تقصر ويزداد سمكها تدريجيا . وعلى ذلك فان ثلاث عمليات تشترك فى ظهور وإتمام المرحلة التمهيدية وهى : فقدان الماء والنمو والتكثيف أو الإتكماش ( الإتكماش ) .

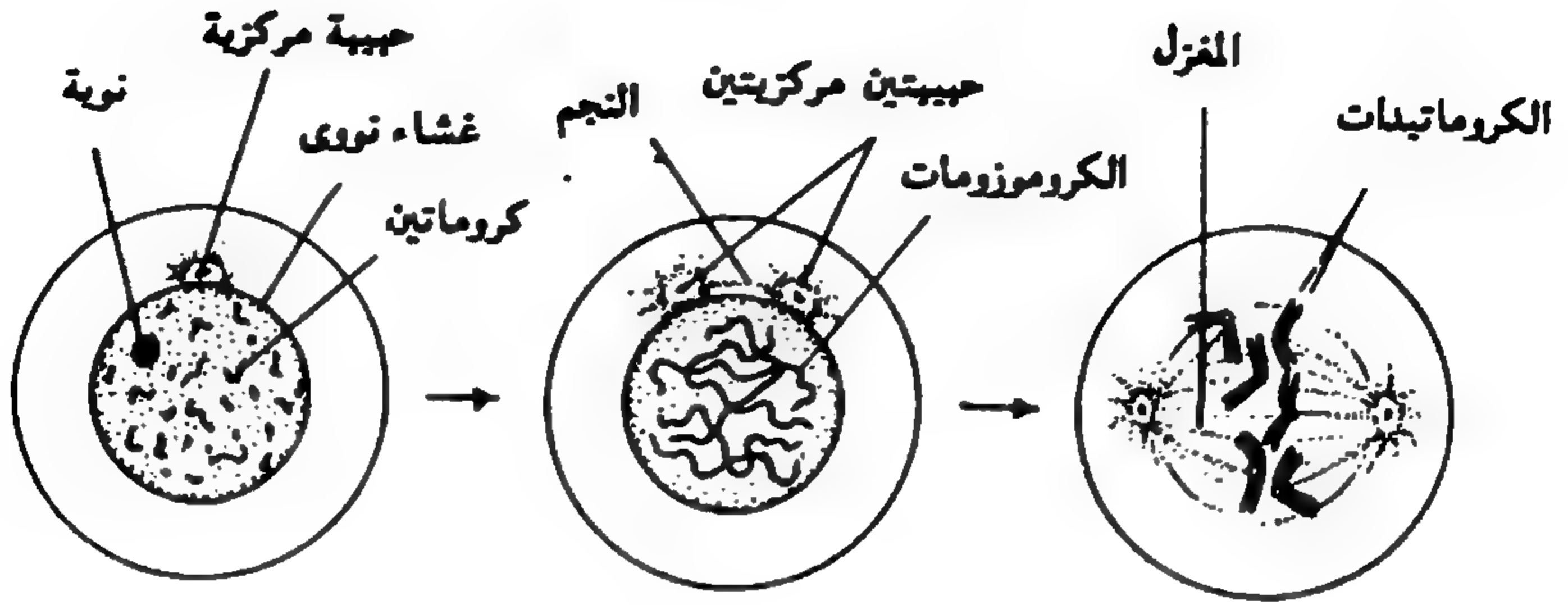
ويبدو كل كروموسوم فى المرحلة التمهيدية منشقا طويلا ، أى أن كل كروموسوم يتكون من نصفين طويلين يعرف كل منهما بالكروماتيدة chromatidic أو الكروموسوم الابنة daughter chromosome وهذا يعنى ان الكروموسومات تبدو دائما مزدوجة منذ إبتداء المرحلة التمهيدية . وتكون الكروماتيداتان متلتصقتين تماما على امتداد طول الكروموسومات . وكل k[kx مزدوج يوجد به جسم وحيد غير قابل للإلتصاع يعرف بالسنترومر centromere أى ( القطعة المركزية ) ويبدو أن السنترومر يظل غير منقسم أثناء المرحلة التمهيدية وانها تنقسم فقط فى المرحلة الإستوائية .

ويجب ملاحظة أن الكروموسومات تتواجد دائما منفصلة ومستقلة عن بعضها منذ المرحلة التمهيدية المبكرة جدا . ولهذا لا يوجد ما يسمى " الخزون المستمر " spireme كما ذكر بعض علماء الخلية السابقين .

وخلال المرحلة التمهيدية تختفى عموما النويات وقد يحدث ذلك فى المرحلة البينية المتأخرة أو المرحلة التمهيدية المبكرة .

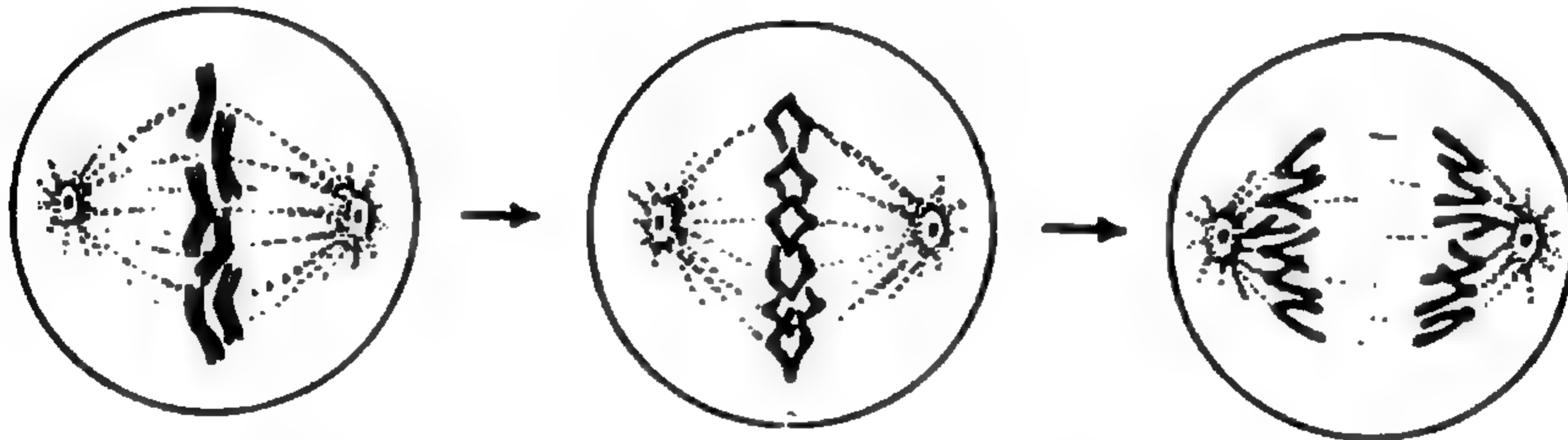
وعند ابتداء المرحلة التمهيدية يلاحظ أن السنتريول " الحبيبية المركزية " centriole تنقسم الى حبيبتين إن لم تكن قد انقسمت من قبل . وتهاجر الحبيبتان المركزيتان الجديدتان فى اتجاه اقطاب الخلية المتقابلة . وعندما تصلان الى القطبين المتقابلين نجد أن السيتوبلازم المحيط بكل منهما ينتظم فى لييفات رقيقة تعرف " بالأشعة النجمية " astral rays التى تشع من كل حبيبة مركزية لتكون شكلا يشبه النجم ويعرف باسم " النجم " aster . وهذه الأشعة ما هى الا انبيبات دقيقة يتراوح طول قطرها بين ١٤٠ إلى ٢٣٠ أنجستروم . وتمتد الأشعة النجمية بين الحبيبتين المركزيتين لتكون " المغزل " spindle الذى يمر وسط الخلية حيث تتواجد الكروموسومات عليه مبعثرة بغير نظام . وقد وجد نوع من المغزل يتكون بطريقة مختلفة عن السابقة وهو يعرف بالمغزل الاستوائى . ويلاحظ فى هذا النوع أن الحبيبات المركزية تهاجر

## الانقسام الميتوزى



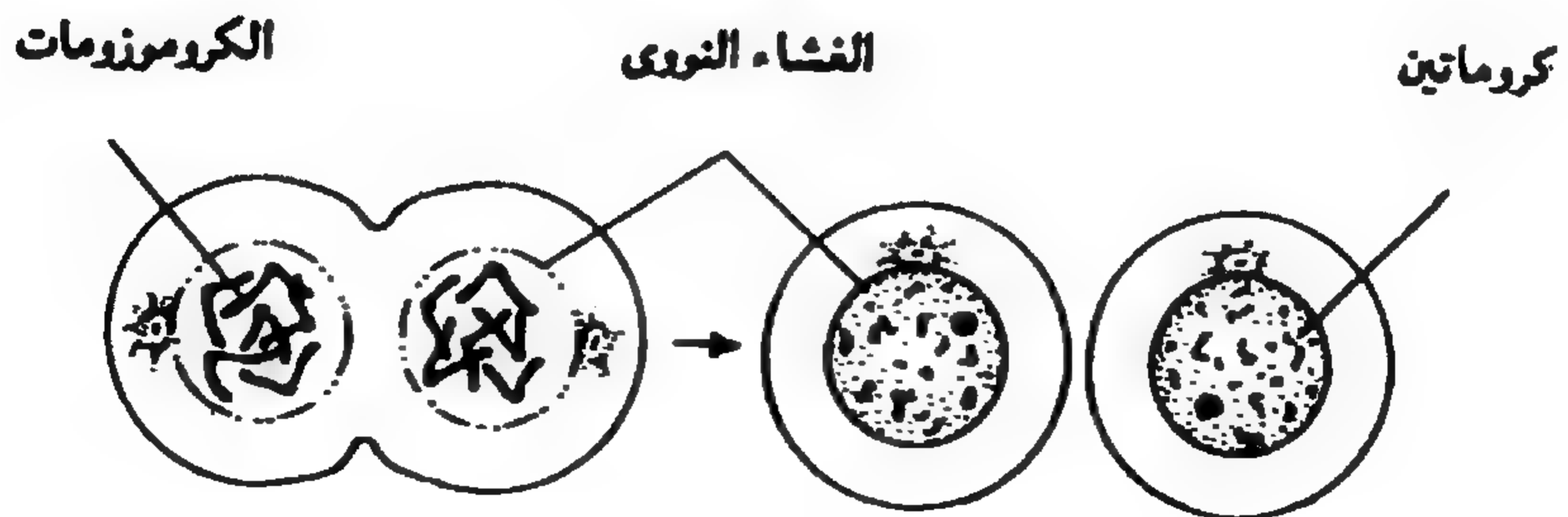
المرحلة البينية

المرحلة التمهيدية



المرحلة الاستوائية

المرحلة الانفصالية



(شكل ١١٠)

شكل يوضح خطوات الانقسام الميتوزى

وتستقر فى الأقطاب المتقابلة ، قبل ابتداء عملية الإنقسام بحيث يتكون المغزل مؤخرًا فى المرحلة الإستوائية .

وعملية الانقسام الميتوزى التى توجد بها الحبيبات المركزية والأشعة النجمية تعرف بالإنقسام " المتيتوزى النجمى " astral mitosis أو النصف نجمى ، ولكن عندما تغيب الحبيبات المركزية فيعبر عنه بأنه انقسام " ميتتوزى غير نجمى " non-astral mitosis . والنوع الاول هو السائد فى الحيوانات وفى بعض النباتات البدائية ، أما الآخر فيسود فى النباتات العليا وبعض اللافقاريات .

وتتلاشى النوية والغشاء النووي فجأة فى نهاية المرحلة التمهيديّة وتعرف الفترة بين اختفاء أو اضمحلال الغشاء النووي وتكون المغزل الكامل بالمرحلة " قبل الاستوائية " pre-metaphase .

## ٢ - المرحلة الإستوائية Metaphase stage :

فيها تنتظم الكروموسومات فى منتصف المغزل وتعرف هذه المنطقة " بالصفحة الاستوائية " equatorial plate وقد تتخلل الكروموسومات المغزل أو تنظم فى دائرة حول الخط الاستوائى . ويجب ملاحظة أن الكروموسومات فى هذه المرحلة تكون مزدوجة ومواجهة للصفحة الاستوائية بحيث ترتبط الكروموسومات باللييفات المغزلية بواسطة السنتروميرات .

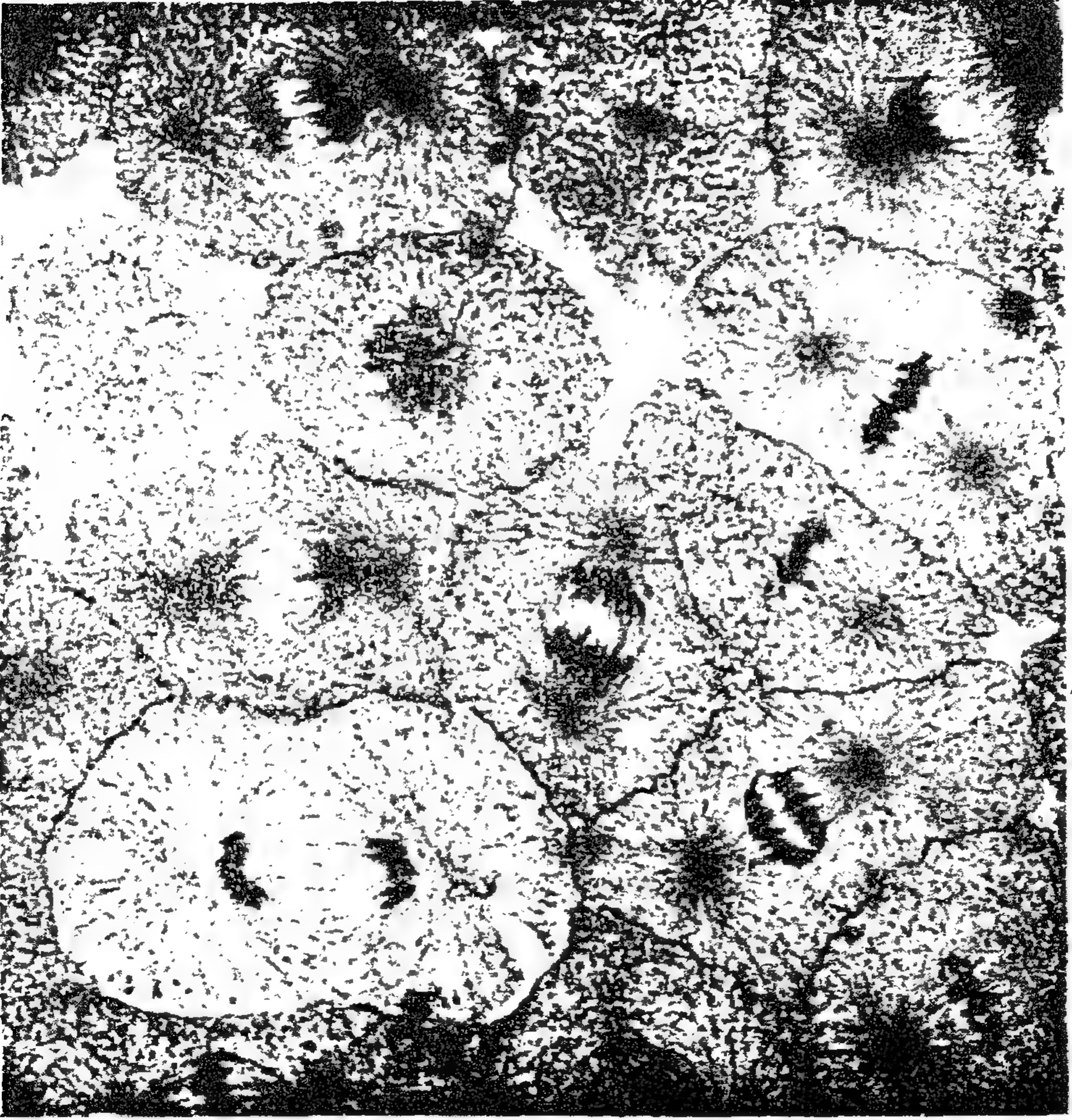
## ٣ - المرحلة الانفصالية Anaphase stage :

فى أثناء هذه المرحلة ينشق السنترومير الذى يربط كل كروماتيديتين ببعضهما ثم تنفصل الكروماتيدات - التى يجب أن يطلق عليها كروموسومات - ويتحرك كل منهما الى احد قطبي المغزا المقابل له . وكأنها تجذب بعيدا عن بعضها . وفى المرحلة الانفصالية المتأخرة تستطيل منطقة المغزل لكي تحمل الكروموسومات بعيدا عن الموقع الأصلي من قطبي المغزل . وحيث ان حركة الكروموسومات تبتدى من السنترومير أى منطقة الاتصال فان الحركة تبدو وكأنها ترجع الى قوة التنافر التى تنشأ عند نقطة الاتصال ( رأى بعض العلماء ) بينما يرى البعض الآخر من العلماء ان حركة الكروموسومات ربما ترجع الى انقباض لييفات المغزل ( اللييفات الكروموسومية ) .



٤ - المرحلة النهائية telophase stage :

هذه هي المرحلة النهائية لانقسام الخلية والتي تبدأ عندما تصل كل مجموعة كروموسومية إلى القطب المقابل وتأخذ هذه الكروموسومات مرة ثانية في تكوين النوية .



(شكل ١١١)

صورة ميكروسكوبية للانقسام الميتوزي

وعادة تمر هذه المرحلة خلال أطوار عكسية لأطوار المرحلة التمهيدية . وبذلك يظهر غشاء النواة والنوية وتكتسب النواة مميزات النواة البينية . ويجب ملاحظة أن النوية تظهر مرة ثانية في مناطق " المنظمات النووية " nucleolar zones أى المناطق التى تتكون فيها النويات الى الكروموسومات المعنية . ويعتقد الآن أن الكروموسومات تتواجد وتستمر خلال الطور البيني للنواة وبمفهوم آخر فإن الكروموسومات تحتفظ بكيانها وفرديتها من إنقسام إلى إنقسام .

وفي هذه الأثناء يظهر حز اختناق حول المنطقة الاستوائية للخلية ويستمر هذا الحز فى التقدم إلى الداخل حتى يقسم الخلية إلى خليتين شقيقتين daughter cells ، كل منهما نسخة طبق الأصل من الخلية الأصلية ( الأم ) . ولا يكون الاختلاف إلا فى الحجم فقط . ويعرف انقسام السيتوبلازم بالسيتوكينيزس cytokinesis ، ويحدث على طول المستوى الذى يمر خلال الخط الاستوائى ( النصف ) للمغزل عموديا على المحور الطولى للمغزل .

وتتراوح الفترة التى تستغرقها الدورة الميتوزية بين ١٠ دقائق إلى عدة ساعات ويعتمد ذلك على نوع الخلية وحالتها الوظيفية ، وكذلك على بعض العوامل الخارجية .

#### تعليق على الإنقسام الميتوزى : Comment on mitosis :

ينتج عن الانقسام الميتوزى إنقسام كل كروموسوم إلى شطرين متساويين ومتشابهين . وحيث أن الكروموسوم هو الذى يحمل المعلومات الوراثية فإن كلا من النسخ الناتجة ستحمل نفس الجينات . ويتوقف الانقسام الميتوزى أيضا على حالة الخلايا ، فيكون نشطا أثناء النمو الجنينى وعند التئام الجروح وعند تكون الأورام الخبيثة ... الخ . ويلاحظ أن الفترة التى تتم فيها عملية الانقسام الميتوزى تكون ثابتة للنوع الواحد ، فالخلايا أى أنها تختلف من نوع من الخلايا عنها فى نوع آخر . ولنضرب لذلك مثلا : ففى خلايا ذبابة الفاكهة تتم عملية الإنقسام الميتوزى فى تسع دقائق بينما تبلغ هذه الفترة ١٠٠ - ٢٠٠ دقيقة فى خلايا أفراخ الدجاج .

كما تختلف الخلايا الجسمية للأفراد التامة النضج فى مقدرتها على الإنقسام ، لهذا تقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية حسب هذه القدرة .

١ - خلايا تنقسم باستمرار طوال فترة حياة الكائن الحى مثل طبقة مليبجى فى الجلد .



٢ - خلايا تتوقف عن الإنقسام عند اكتمال النمو مثل خلايا الكبد ولكن تحت بعض الاحوال والظروف ( مثل استئصال جزء من الكبد او جرح الكبد ) تستعيد القدرة على الإنقسام .

٣ - خلايا تبدو أنها فقدت تماما القدرة على الانقسام الخلوى وأن هذه المقدرة لا تستعاد تحت أى من الظروف كما فى حالة الخلايا العصبية .

### الإنقسام المباشر ( اللاميتوزى ) AMITOSIS

الإنقسام اللاميتوزى أو الإنقسام النووى المباشر هو الإنقسام الذى يحدث بكثرة فى الحيوانات الأولية ولكنه قد يحدث نادرا فى الحيوانات عديدة الخلايا كما فى بعض الحالات المرضية . فى هذا الانقسام تستطيل النواة ويتخصر وسطها إلى أن ينفصل النصفان وبتعدادان عن بعضهما البعض . ويحدث انقسام النواة بدون ان يختفى الغشاء النووى ويبدو أنه تحدث تفصيلات تنظيمية للمادة الكروماتينية ثم يحدث بالتالى اختناق فى منتصف السيتوبلازم بين النواتين مؤديا الى خليتين شقيقتين تشبهان الخلية الأصلية فيما عدا الحجم .

### الانقسام الميوزى MEIOSIS

تحتوى الخلايا الجسمية للحيوان على عدد ثابت ومعين من الكروموسومات يعرف " بالعدد المزدوج أو المجموعة الزوجية ( ٢ ن ) diploid set بينما تحتوى الخلية الجرثومية لنفس الحيوان على نصف العدد أى " عدد أحادى " أو مجموعة فردية ( ن ) haploid set ، ويرجع السبب فى ذلك الى أنه عندما يتحد الحيوان المنوى بالبويضة يحدث الإخصاب وفيه يستبعد الزيجوت العدد الثابت من الكروموسومات الذى يميز هذا النوع .

هذا النوع من الانقسام الخلوى الذى يختزل منه عدد الكروموسومات الجسمية أو العدد المزدوج ( ٢ ن ) إلى العدد الأحادى ( ن ) يعرف " بالإنقسام الميوزى " أو " الانقسام الاختزالى " reduction divisions . ويحدث الإنقسام الميوزى فقط فى الخلايا الجرثومية وهو يعتبر انقسامين متتاليين . ويتم اثناء هذين الانقسامين أن تنقسم الكروموسومات مرة واحد فقط بينما تنقسم النواة مرتين ، ويطلق على هذين الانقسامين " الإنقسام الميوزى الأول " first meiotic division " والإنقسام الميوزى الثانى " second meiotic division " ويفصل بينهما طور بينى قصير جدا . وفى بعض الكائنات الحية ينعدم هذا الطور البينى.



## الإنقسام الميوزى الأول First meiotic division :

المرحلة التمهيديّة الأولى First prophase stage: تتميز المرحلة التمهيديّة للإنقسام الميوزى الأول بتعقيباتها وظولها . ولهذا فإنه من المريح أن تقسم إلى أطوار عديدة وترتب تبعا لحدوثها وهي تعرف بالطور قبل القلادى والقلادى والتزاوجى والتضام والتشتتى . ويتبع المرحلة التمهيديّة المرحلة الإستوائية ثم الإنقاصيّة ثم النهائيّة ثم يتبع هذا الإنقسام الميوزى الثانى .

## الطور قبل القلادى (Leptonema) Leptotene stage :

وهو الطور المبكر للمرحلة التمهيديّة للإنقسام الميوزى الأول وتتميز هذه المرحلة بقصر فترتها وهي تقابل الطور المبكر فى الإنقسام الميتوزى . وفى هذا الطور تبدو الكروموسومات رقيقة جدا حتى أنه يصعب توضيحها .

## الطور القلادى Leptotene stage :

فى هذا الطور تبدو الكروموسومات أكثر وضوحا وتكون على هيئة خيوط طويلة رقيقة تتساوى فى عددها مع عدد الكروموسومات فى الخلايا الجسميّة . ويعتقد بعض العلماء بأن هذه الكروموسومات لا تنقسم طوليا أى أن لكل كروموسوم يتكون من كروماتيد واحد لا من كروماتيدتين . وإذا كان هذا الرأى صحيحا فإن ذلك سوف يكون فارقا هاما بين كروموسومات الطور القلادى وكروموسومات المرحلة التمهيديّة المبكرة للإنقسام الميتوزى . ويعتبر فريق آخر من العلماء أن الكروموسومات ينشطر كل منها إلى كروماتيدتين يتم قبل الطور القلادى . كما يوجد خلاف آخر وهو أن الكروموسومات أكثر وضوحا عنها فى حالة الإنقسام الميتوزى .

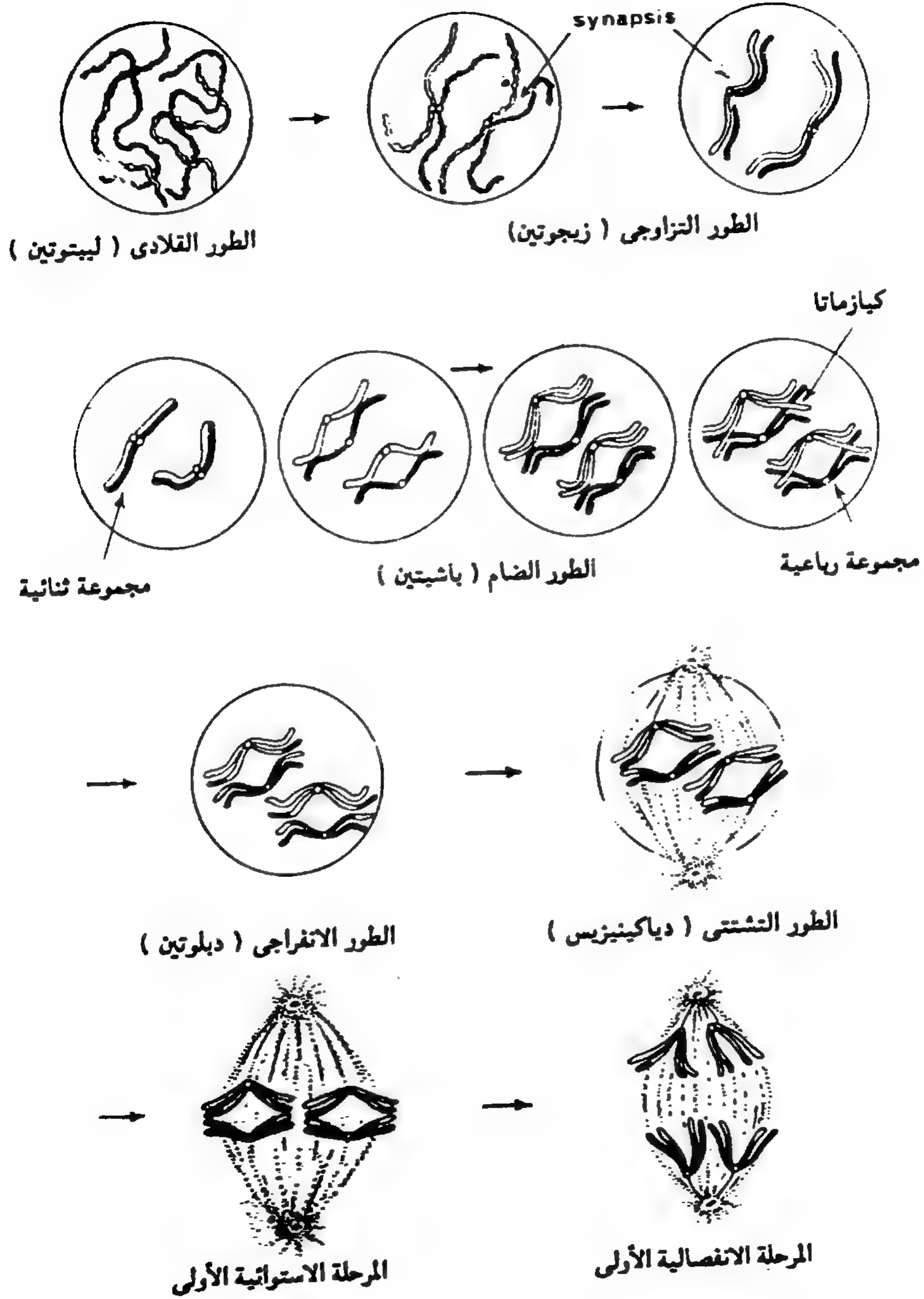
وقد تتواجد الكروموسومات بدون ترتيب منتظم داخل النواة أو قد تتجمع موجهة أحد أو كلا طرفيها إلى ناحية واحدة مكونة ما يسمى " بالباقة " bouquet . وفى النوع الذى تتواجد فيه الكروموسومات متجمعة نجد أن الكروموسومات تحتفظ بترتيبها فى المرحلة النهائيّة السابقة أى أن جميع السنتروميرات ( القطع المركزيّة ) تتجه إلى ناحية واحدة للنواة وتترتب الكروموسومات كما لو كانت حزمة زهور .

## الطور التزاوجى (Zygotene stage (Zygonema) :

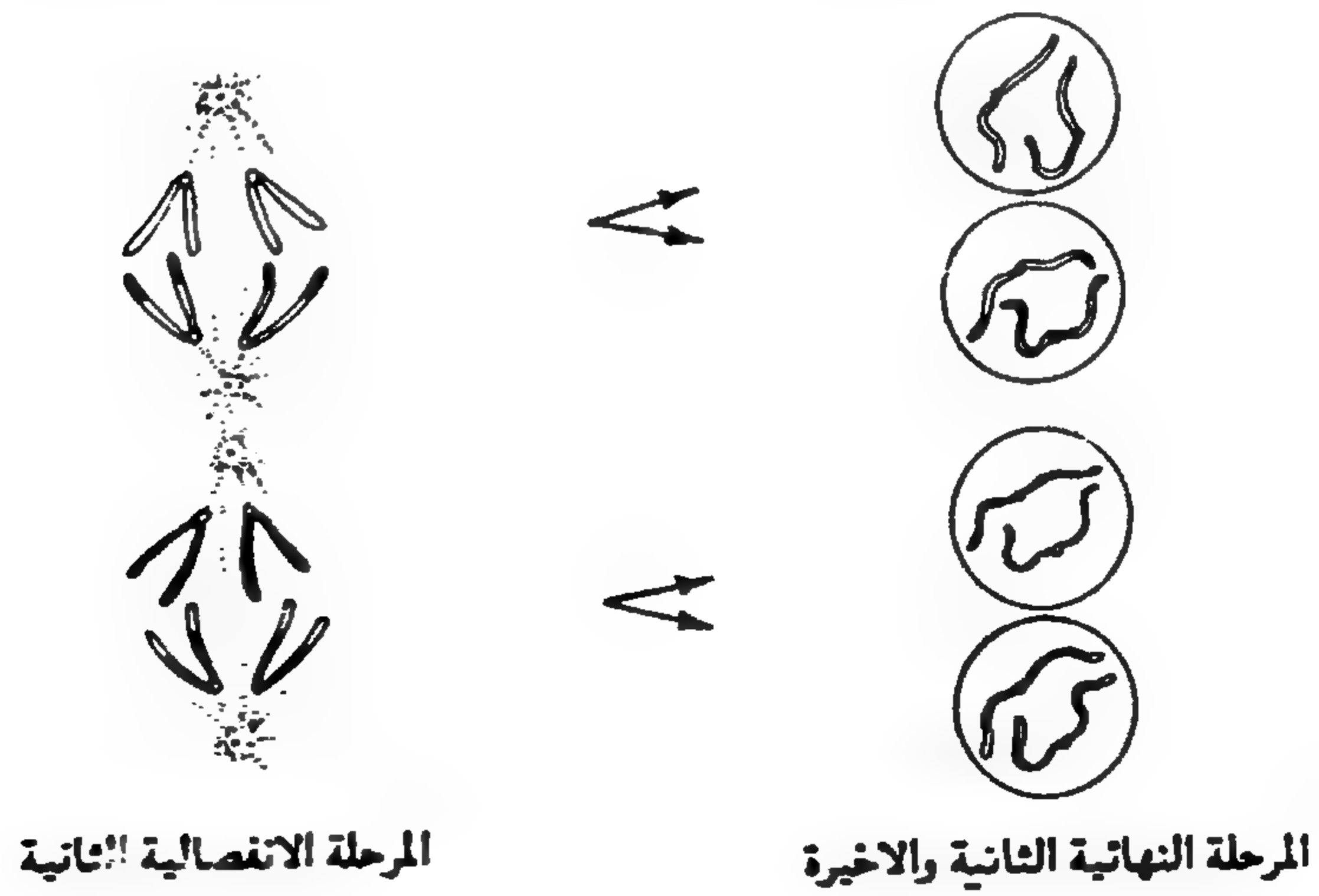
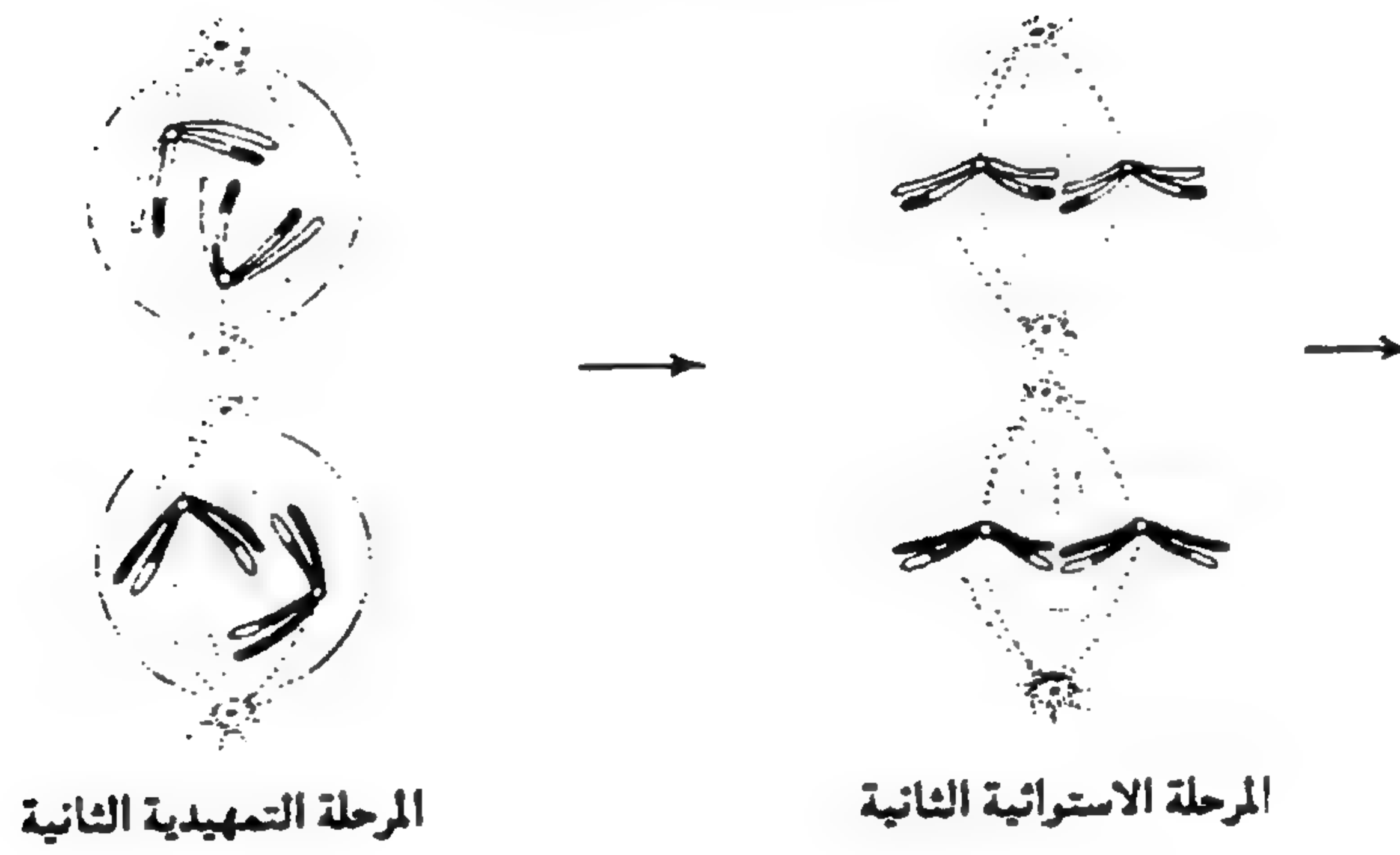
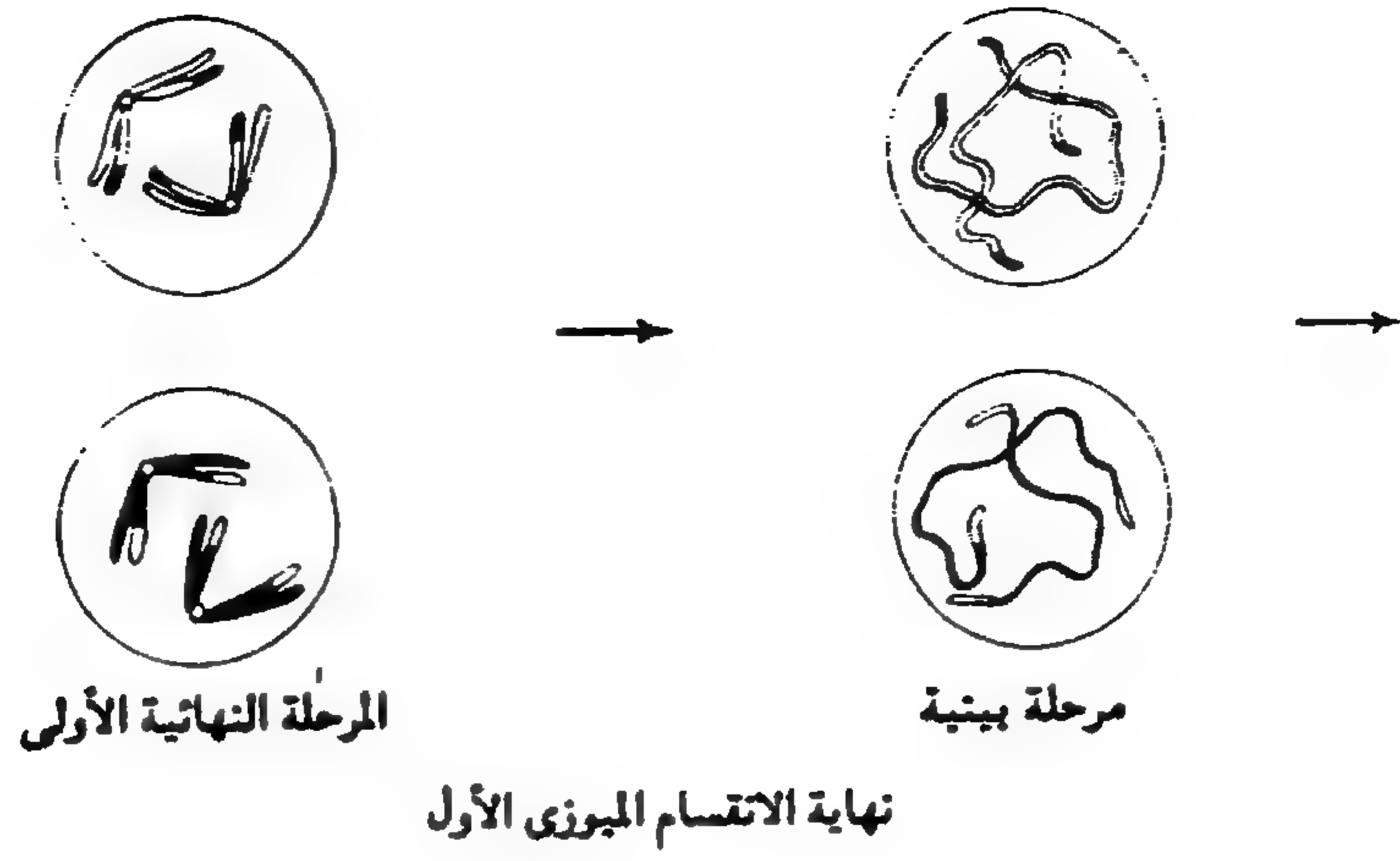
يلى الطور القلادى طور آخر يعرف بالطور التزاوجى الذى يتم خلاله ازدواج الكروموسومات المتماثلة وهذا يعنى أن كل زوج من الكروموسومات المتماثلة تنتظم جنباً إلى جنب وبهذا تنحرف الكروموسومات نحو الترتيب فى أزواج الذى يشار إليه دائماً " بالتشابه " بالرغم من أن هذا الاصطلاح بدأ يبطل استخدامه ، ويختلف ترتيب الكروموسومات أثناء عملية الإزدواج فحينما تكون الكروموسومات متجمعة " مستقطبة " polarized فإن الإزدواج يبدأ عند السنترومير ثم يمتد على طول الكروموسومات ولكن عندما تكون الكروموسومات غير مرتبة " غير مستقطبة " non-polarized فإن الإزدواج يتم عند أية نقطة على الكروموسوم . وعندما يتم الإزدواج فإن الكروموسومات تبدأ فى القصر والتغلظ . ويجب ملاحظة أن ازدواج الكروموسومات ليس مجرد ازدواج بين كروموسومين متماثلين فقط ولكن بين الكروموسومات المتماثلة على الكروموسومين . ويمكن مشاهدة هذا فى الكروموسومات التى يوجد بها الكروموسومات واضحة لأن أحجام الكروموسومات تختلف اختلافاً طفيفاً فيما بينها . ويمكن أيضاً إزدواج الكروموسومات وذلك بمراقبة سلوك المناطق المنقلبة حيث يحدث أن يعكس جزء من الكروموسوم . فإذا افترضنا دلالات للكروموسومات على أحد هذه الكروموسومات المتماثلة a, b, c, d, e, f... والكروموسومات على الكروموسوم المناظر a', b', c', d', e', f فإنه يحدث أن يزدوج a مع a' ، b مع b' .. وهكذا . فإذا كان هناك منطقة قصيرة وحدث انقلاب فى أحد هذين الكروموسومين المتماثلين ولم يحدث انقلاب فى قطره الآخر ، نجد أن المنطقة المنقلبة ستبقى غير مزدوجة وتكون إنشأً فى المنتصف .

ولكن إذا كانت المنطقة المنقلبة أطول نجد أن الاثنائة سوف تلتوى دائرياً لكى تزدوج الكروموسومات المتناظرة. أما إذا فقدت منطقة قصيرة تماماً من الكروموسوم فإن المنطقة المقابلة فى الكروموسوم المناظر ( المماثل ) ستكون اثنائية غير مزدوجة ويبدو أن عملية الإزدواج تنتج من قوة انجذاب بين الكروموسومات ( الجنيات ) المتماثلة ويكون هذا الانجذاب نوعياً . ويبدو أنه يقوم بدوره خلال مسافات معينة حيث أن بعض الكروموسومات المزدوجة فى الطور التزاوجى تظهر عند الأقطاب المتقابلة خلال الطور القلادى . وهناك احتمال أن قوة الإزدواج تتطابق مع القوة التى تحفظ الكروماتيدات مع بعض على طول امتداد الكروموسوم أثناء المرحلة التمهيديّة للإقسام الميتوزى .

(شكل ١١٢) شكل يوضح خطوات الانقسام الميوزي

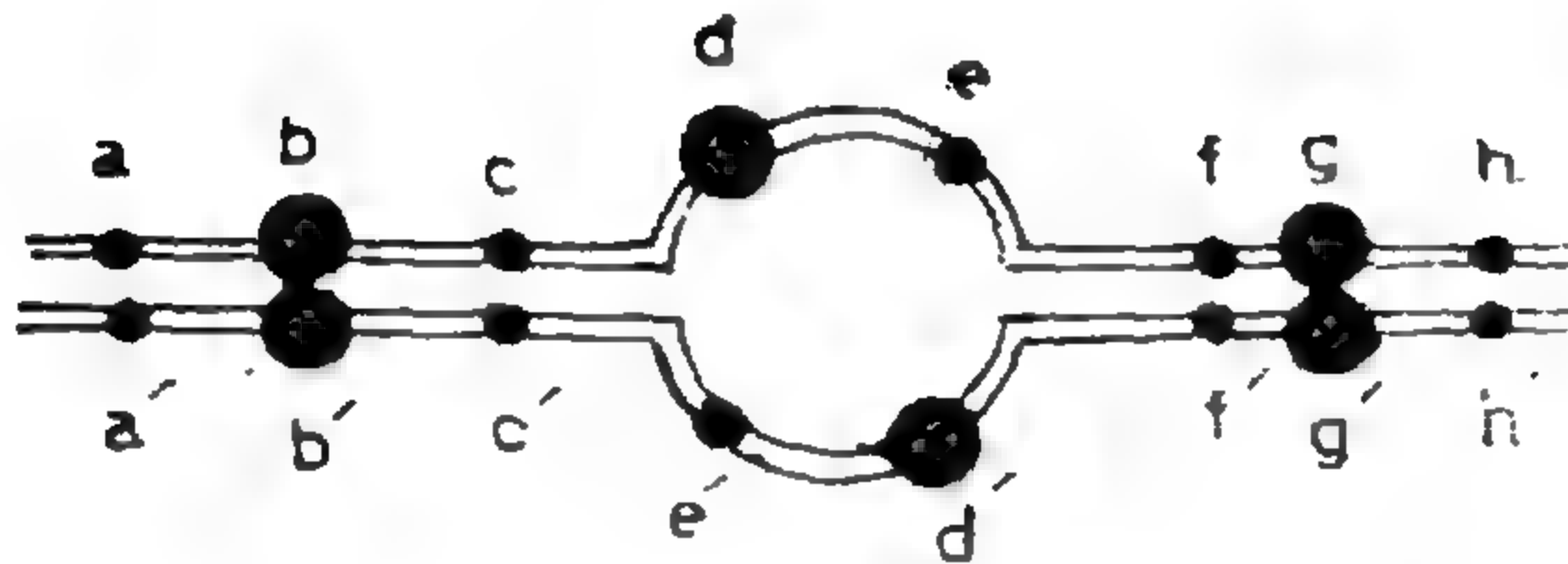




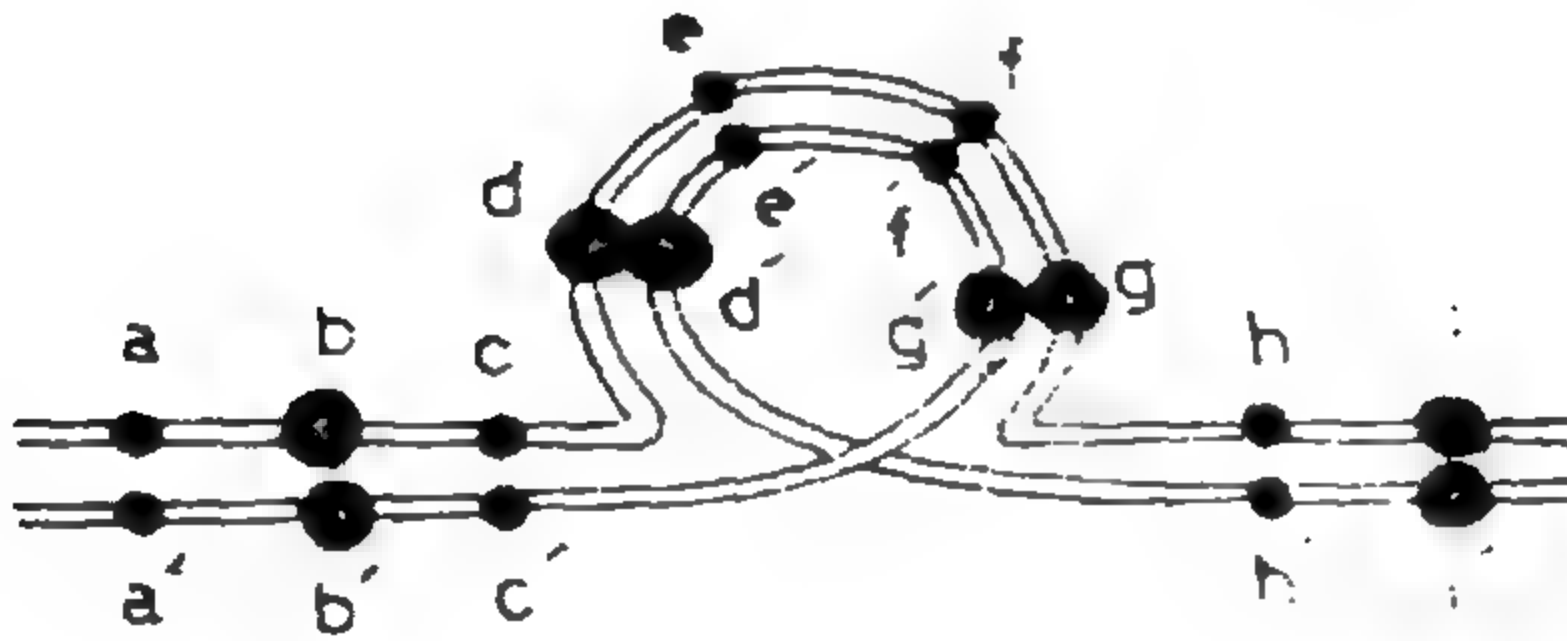


### الطور الضام (Pachytene stage (pachynema) :

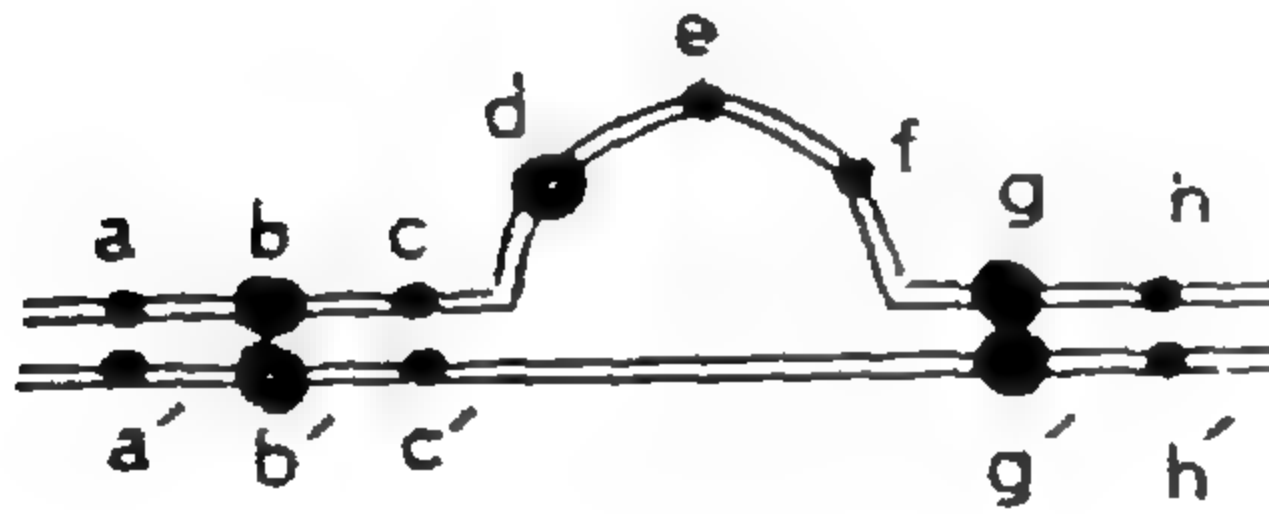
عندما يتم ازدواج الكروموسومات يقال أن النواة أصبحت في الطور الضام وتصبح الكروموسومات أقصر وأغلظ . ونتيجة لهذا الازدواج فإن العدد الظاهري لهذه الكروموسومات يختزل الى نصف عددها . إلا أن هذا الاختزال ما هو إلا اختزال ظاهري فقط حيث أن كل ( خيط ) يكون مزدوجا أو ثنائيا bivalent or diads "أو وحدة كروموسومية ثنائية " وكل وحدة كروموسومية ثنائية تقابل كروموسوم من كروموسومات الإنقسام الميوزي العادي الذي يتكون في منتصف المرحلة التمهيديّة . ويجب ملاحظة أن الوحدة الكروموسومية الثنائية تتكون عن طريق ازدواج كروموسومين كاملين بدلا من انشطار كروموسوم واحد كما في حالة



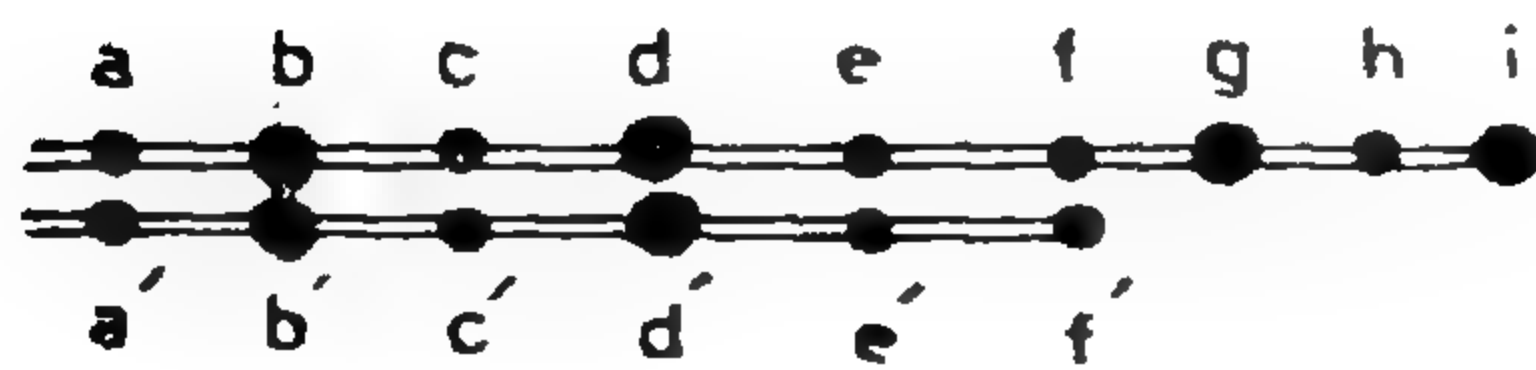
أ ( متقابلان )  
الكروموسومان منبعجان للخارج



ب الكروموسومان منبعجان للخارج



ج - إنقلاب أحد الكروموسومين  
وفقدان قطعة منهما



د - فقدان قطعة من  
الكروموسومات

شكل ( ١١٣ )

شكل يوضح ازدواج الكروموسومات

الإنقسام الميتوزى . وهناك اختلاف هام آخر وهو أن كل من ثنائيات الطور الضام بها سنترويران يكون ملتصقين ببعضهما البعض بينما كروموسوم المرحلة التمهيدية للإنقسام الميتوزى له سنتروميرة واحدة فقط .

ويحدث فى منتصف الطور الضام تقريبا انشقاق طولى فى كل كروموسوم نظير فى مستوى عمود على مستوى الإزدواج ، ونتيجة لهذا أن كل وحدة كروموسومية ثنائية تتكون من أربعة كروماتيدات ولهذا كان يطلق عليها سابقا " بالرباعيات " tetrads ويطلق على كروماتيد فى كل نظير " بالأبناء الكروماتيدية " daughter chromatids .

ويمكن تقسيم الطور الضام الى طور " ذو الشريطين " diads ( قبل أن تنشط الكروموسومات ) وإلى طور " ذو الأربعة اشربة " tetrads ( بعد انشطار الكروموسومات ) . وعند ابتداء الطور الضام يمتد كل خيطين بالتوازي لبعضها البعض ثم يبدأان فى الالتفاف حول بعضهما البعض ولذلك فإنه عندما يحدث الانشطار تنتج أربعة خيوط ، اثنان منها يلتفان حول الإثنين الآخرين . وعندما يحدث الانشطار الطولى للكروموسوم قد تتكسر الكروماتيدات " الداخلية المتناظرة " homologous chromatids فى نفس المستوى العرضى ثم يحدث تبادل بين قطع الكروماتيدات بينما لا تحدث عملية التبادل هذه بين الأبناء الكروماتيدية ويعرف هذا بالعبور crossing over ولهذا فإن الكروماتيديتين الخارجيتين تبقيان كما هما .

#### الطور الانفراجى : Diplotene stage

يبدأ الطور الانفراجى بمجرد أن تنشط الكروموسومات المتماثلة طوليا ثم تأخذ فى الابتعاد عن بعضها البعض لكي تنفصل عن بعضها بمعنى أن قوة التجاذب بين الكروموسومات المتماثلة تنقلب الى قوة تنافر بعد عملية الإنشطار الطولية للخيوط الواحد . وانفصال الكروموسومات المتماثلة لا يكون انفصالا تاما حيث تبقى هذه الكروموسومات متصلة ببعضها فى بعض النقاط التى عرف بالكيمازما chiasma ( الجمع كيازماتا ) chiasmata . وتمثل هذه الكيازمات نقاط التبادل بين الكروماتيدات المتناظرة كما تعبر هذه النقاط القاعدة الأساسية للعبور الوراثى وتوجد الكيازماتا فى كل الحيوانات والنباتات ما عدا فى حالات قليلة . ويوجد على الأقل كيازما واحدة فى كل ثنائى أو قد يوجد أكثر . والكيازماتا عامة تكون بينية بمعنى أنها تتواجد بين نهايات الكروموسومات . والكيازمات تختزل تدريجيا وتتحرك خارجيا على طول الكروموسوم . ويطلق على هذا الاختزال عملية " الانزلاق الطرفى " terminilization .



## الطور التشعتي Diakinesis :

هذا الطور يقابل المرحلة المتأخرة التمهيديّة للإنقسام المباشر ويتميز هذا الطور بانكماش الكروموسومات واستمرارية الانزلاق الطرفي حتى تختفى الكيازمات نهائياً . ويتم الانتقال بين الطور الانفراجي والطور التشعتي بصورة تدريجية . وفي الطور التشعتي تستمر الثنائيات الكروموسومية في الانكماش عن طريق التحلزن .

وقد امكن بآء استخدام تقنية خاصة توضح تركيب كل كروماتيدة حيث وجد أنه حلزون مزدوج تكون فيه كل حلقة من الحلزون الرئيسي مكونة من حلقات عديدة من الحلزون غير الرئيسي (minor) . ونتيجة لتغلظ الكروماتيدات فإنه يصعب رؤية وتمييز الفاصل بينها والذي كان يرى بوضوح أثناء المرحلة الوسطية والنهائية للطور الانفراجي . وتسلك النويات سلوكاً مشابهاً لسلوكها في عملية الانقسام المباشر . ويتم الدوران بابتداء الطور التشعتي ولكن عملية الانزلاق الطرفي تستمر حتى الطور الاستوائي للإنقسام الميوزي الأول . وعندما تتم عملية الانزلاق الطرفي نجد أن أعضاء الثنائيات المتماثلة تبقى متصلة أو مرتبطة فقط عند الأطراف البعيدة التي تستقر بها السنتروميرات .

## المرحلة قبل الاستوائية Pre-metaphase stage :

كما هو الحال في عملية الإنقسام غير المباشر نجد أن الفترة بين اختفاء الغشاء النووي وبين اللحظة التي يتم فيها تكوين المغزلي تكويناً كاملاً يطلق عليها " بالمرحلة الاستوائية " . وخلال هذه المرحلة تصل عملية الانزلاق الطرفي إلى قمته وتتجه الثنائيات إلى الخط الاستوائي للمغزل وتبدأ المرحلة الاستوائية .

## المرحلة الاستوائية الأولى First metaphase stage :

تختلف هذه المرحلة عن المرحلة الاستوائية للإنقسام الميوزي الجسمي في أن كل ثنائي يحتوي على سنتروميرين ( قطعتين مركزيتين ) مستقلتين عن بعضها لا تنقسمان كما هو الحال في الانقسام الميوزي . وتقع السنتروميرات على مسافات متساوية أعلى أو أسفل الخط الاستوائي . ويجب ان نتذكر أن كل كروموسوم في الانقسام الميوزي به سنترومير واحد فقط ولهذا فان جميع السنتروميرات تقع في المستوى ( الخط ) الاستوائي .

### المرحلة الانفصالية الأولى : First anaphase stage :

نتيجة لقوة التنافر فإن كل سنترومير يرحل في اتجاه قطب المغزل الأقرب ويجذب خلفه الكروماتيد المتصل به . وأثناء هذه العملية نجد أن الكيازمات التي تنزلق طدفيا تتحرك على طول نهايات الثنائي وفي المرحلة الانفصالية المتأخرة تستطيل المنطقة الوسطية للمغزل ويتم انفصال كل ثنائي إلى وحدتين ( نصف ثنائي ) أي إلى كروموسومين .

### المرحلة النهائية الأولى : first telophase stage :

عندما تصل كل مجموعة من كروموسومات المرحلة الانفصالية إلى القطب المقابل أو المناظر تبدأ المرحلة النهائية . وهذا يماثل ما يحدث في الانقسام البتوزي العادي عدا أن كل مجموعة كروموسومية تكون احادية السنترومير . وقد تبقى الكروموسومات في صورة مكثفة . وفي هذه الحالة نجد أن الكروماتيدات الشقيقة تنفجر بعضها عن بعض وينتج من الانقسام الاختزالي الأول تكون أمهات المنى الثانوية في الذكر وأمهات البيض الثانوية في الأنثى . ويتبع المرحلة النهائية فترة قصيرة تعرف ما " بين الانقسام " أو " الفترة البينية " interphase وقد لا تثبت الكروموسومات في هذه الفترة وتختفى ظاهريا وتمر بالحالة التي تتميز بها النواة البينية ، وقد تبقى في الحالة المكثفة ولا تمر بأية تغيرات بين المرحلة الانفصالية للانقسام الأولوين المرحلة الإستوائية للانقسام الثاني .

### الانقسام الميوزي الثاني : Second meiotic division :

وهو يرمز لنفس الخطوات الرئيسية التي حدثت في الانقسام الأول ، وتشتمل على :

### الطور التمهيدي الثاني : Second prophase stage :

وفيه تنقسم كل حبيبة مركزية - سنتريول - إلى قسمين يرحل كل منها إلى القطب المواجه في الخلية ويتكون المغزل ويختفى الغشاء النووي وترتبط الكروموسومات بالألياف المغزلية وما يزال كل كروموسوم ومتكونا من كروماتيدتين.

### الطور الاستوائي الثاني : second metaphase stage :

تترتب الكروموسومات على خط استواء المغزل ويتكون كل كروموسوم من ثنائي يتكون من كروماتيدتين متصلان ببعضهما البعض عند السنترومير (القطعة المركزية) .

### الطور الانفصالي الثاني : Second anaphase stage :

ينقسم السنترومير الذي يربط كل كروماتيدتين وتنفصل الكروماتيدات الشقيقة عن بعضها وترحل في اتجاه الاقطاب المتقابلة وقد أصبحت كل كروماتيدة الآن كروموسوما مستقلا .

### المرحلة النهائية الثانية : Second telophase stage :

في كل مجموعة مقابلة تتجمع الكروموسومات بالقرب من القطب المقابل للمغزل ثم تستطيل وتصبح قصيرة رقيقة ويتكون الغشاء النووي حول كل مجموعة كروموسومات . وبهذا تتكون النواتان وتحتوي كل منها على العدد الفردي للكروموسومات .

### تعليق على الانقسام الميوزي : Comment on meiosis :

يتكون الانقسام الميوزي من انقسامين متتاليين . وفي الانقسام الأول يمر نصف عدد الكروموسومات الى كل من النواتين الشقيقتين . وفي الانقسام الثاني ينشطر كل كروموسوم الى كروماتيدتين ، وفي النهاية تنتج أربع أنوية من الخلية الأصلية - وتحتوي كل منها على العدد الفردي (n) من الكروموسومات . وعلى ذلك تتكون أربع جاميتات تحتوي كل منها على (n) كروموسوم .

وعندما تتحد جاميتتان مع بعضهما ينتج الزيجوت الذي يحتوي على ٢ ن (2N) ولو أن هذا الانقسام الاختزالي لم يحدث لا ازدوجت الكروموسومات عند كل اندماج .

وبالإضافة الى ذلك فإن عملية العبور التي يحدث فيها تبادل الجينات تجعل الزيجوت المتكون يستقبل مجموعة متنوعة من العوامل الجينية ( الوراثة ) كل من الأب والأم ، ويعمل هذا على " التنوع الوراثي " genetic variation .



## الفصل الثامن عشر

### الكروموسومات والوراثة CHROMOSOMES AND GENETICS

#### الوراثة السيتولوجية CYTOGENENTICS

الوراثة هي علم التوريث . والتوريث يعنى انتقال الصفات التشريحية والفسولوجية والمعنوية من جيل إلى جيل وطبعاً لا يدخل فى هذا انتقال التقاليد والتعليم .

وتتكون مادة التوريث من تراكيب دقيقة تعرف بالجينات التى تنتظم فى متتاليات مستقيمة فى الكروموسومات والجين هو العامل الوراثى الذى يحدد ظهور صفة معينة .

والمقصود بالوراثة السيتولوجية العلاقة المتبادلة بين علم الخلية وعلم الوراثة ويتضح هذا من الحقيقة الثابتة بأن الكروموسومات هى التى تحمل العوامل الوراثية وأى تغير يحدث فى الكروموسومات ينعكس على المكونات الوراثية فى النوع الناتج .

ويختص علم الوراثة السيتولوجية أساساً بالبنيان الخلوى والجزيئى للتوارث والتنوع والطفرات وتطور الكائنات الحية .

#### الوراثة المندلية Mendelian Genetics

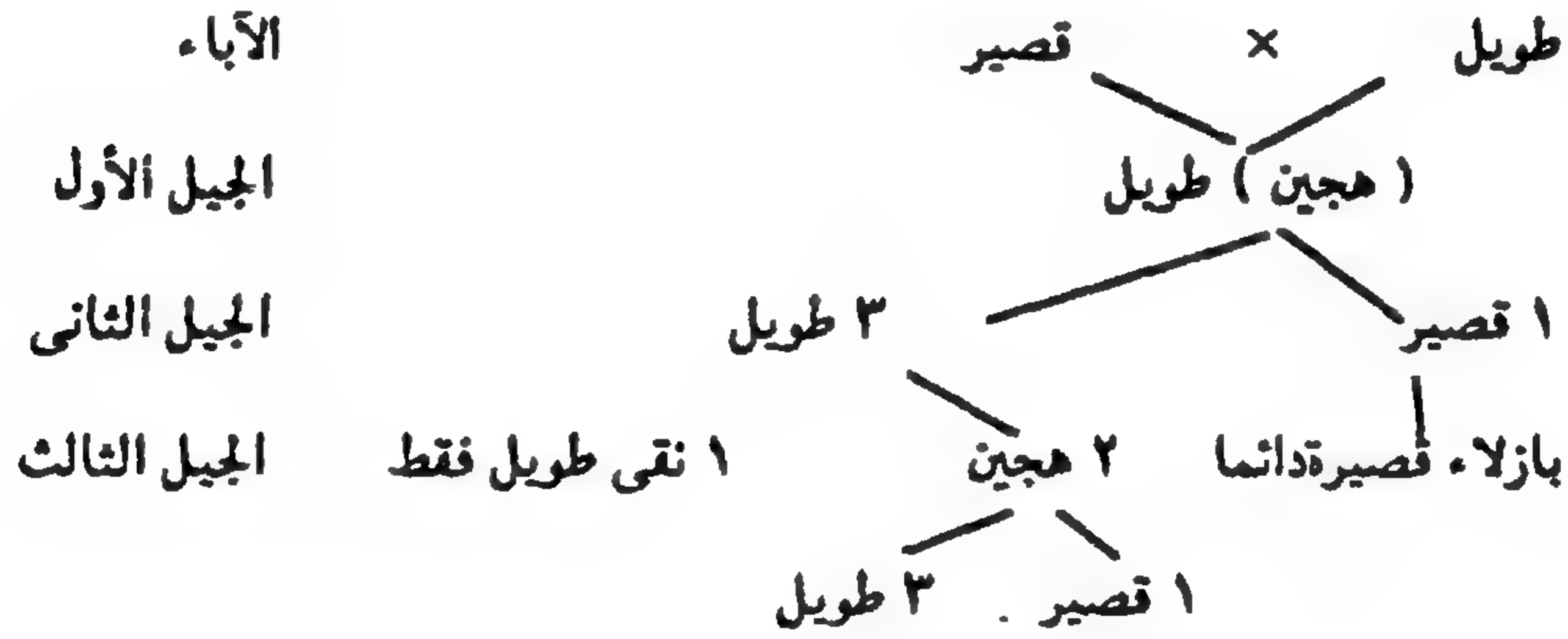
ملحوظة هامة : على الرغم من التقدم المذهل فى علوم الوراثة ، فإنه لا تزال هناك حاجة ضرورية إلى مراجعة واستذكار أساسيات هذا العلم التى تجم عنها كل هذا التطور ، ويرجع الفضل فى ذلك للعالم جريجور مندل ( Gregor Mendel ١٨٦٥ ) الذى اكتشف القانونين الرئيسين للتوارث والذى بنيت عليه النظرية الحديثة للوراثة . وقد تم إعادة اكتشاف أعمال مندل للتوريث فى عام ١٩٠٠ والاعتراف بدور الكروموسومات فى عملية تكوين الإمشاج وكذلك دورها فى عملية الإخصاب وقد أعطى هذا إيضاحاً سيتولوجياً للأعمال التى قام بها مندل كما افتح حقولاً جديدة فى السيتولوجيا النووية الذى أدى إلى ظهور "علم الوراثة السيتولوجية" Cytogenetis

لقد نشرت نتيجة تجارب مندل على بازلاء الحديقة في سنة ١٨٦٦ في مجلة محلية للتاريخ الطبيعي حيث توارت لمدة ٣٤ عاما حتى أعيد اكتشافها بواسطة العلماء كورنز وتشرماك ودي فريز (Correns, Tscermak & devries) كل على حده بعد وفاة مندل بستة عشر عاما .

### قانون مندل الأول First Mendelian law

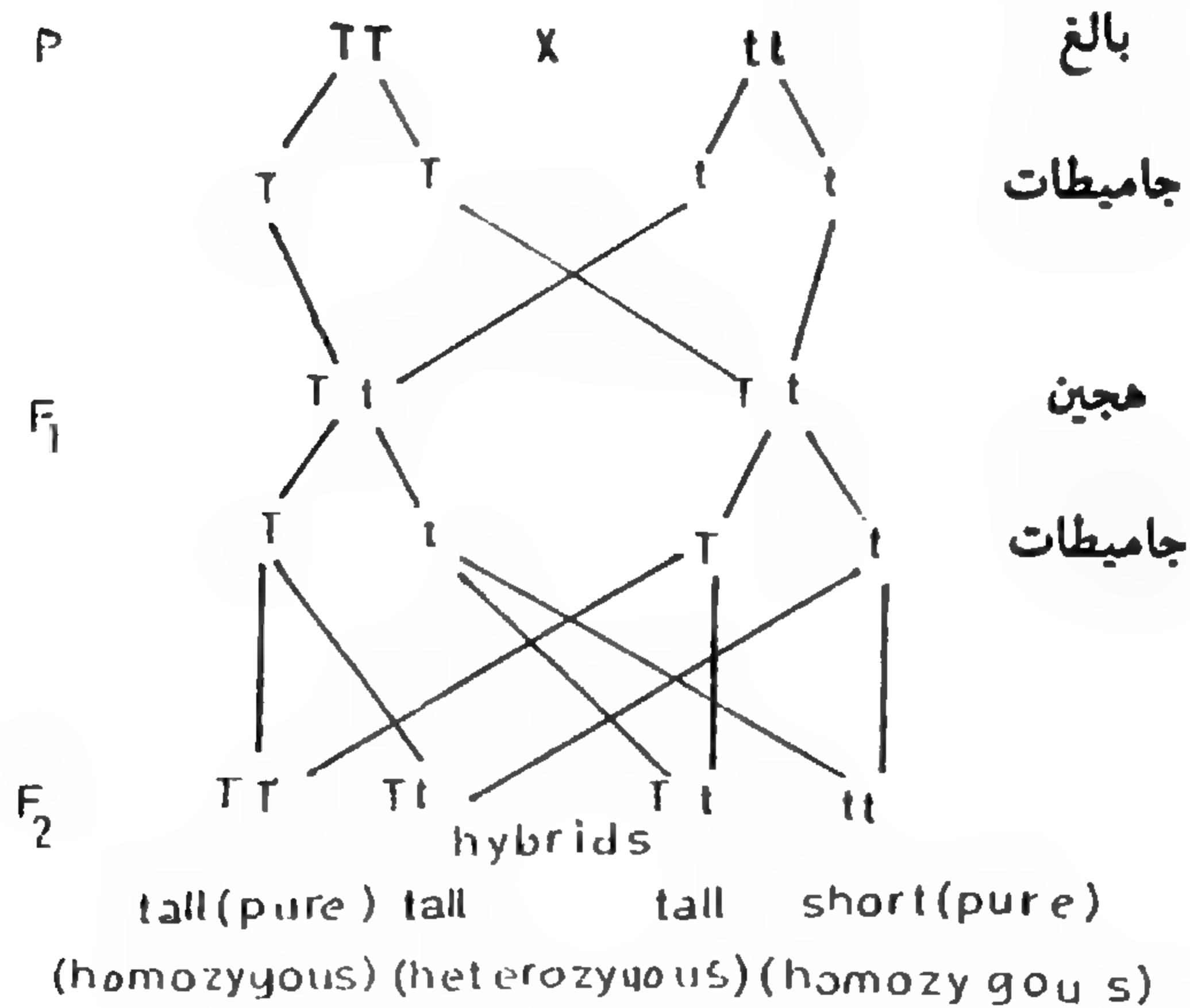
#### " قانون انعزال الجينات " Law of gene segregation

لاحظ مندل أنه إذا تزاوج نوع طويل من البازلاء مع نسوع قصير فإن الأفراد الناتجة ( الهجن ) للجيل الأول تكون كلها نباتات طويلة . وإذا تركت هذه النباتات للتلقيح الذاتي فإن الخلف أو الأبناء ( الجيل الثاني ) تكون طويلة وقصيرة بنسبة ٣ طويل : ١ . وإذا تركت بازلاء الجيل الثاني القصيرة للتلقيح الذاتي فإنها تعطى أفرادا قصيرة فقط . وعندما تترك بازلاء الجيل الثاني الطويلة لكي تتلقح ذاتيا فإن ثلثها ينتج أفرادا كلها طويلة مما يدل على أنها قية بالنسبة لصفة الطول بينما ينتج الثلثان المتبقيان بازلاء طويلة وقصيرة بنسبة ٣ : ١ وذلك لأنها تحمل عوامل الطول والقصر .



وتفسر النتائج السابقة بإفترض أن الخلايا الجرثومية للنوع الطويل تحتوي على عامل الطول . (يجعل النبات طويلا وهذا العامل يعرف بالجين ) كما يحمل النوع القصير عامل (هجين ) عامل القصر - أفراد الجيل الأول تحتوي على كلا الجينين . ويشترك أحد الأبوين بجين الطول كما يشترك الأب الآخر بجين القصر وحيث أن أفراد الجيل الأول كلها طويل فإنه يتضح أن جين الطول هو الجين السائد وأن جين القصر هو الجين المتنحي . وعندما يجتمع الجينان مع بعضهما البعض فإن الجين السائد يمنع الجين المتنحي من أن يعبر عن نفسه .

ومن المعتاد الاستدلال على العامل أو الجين السائد فى اى تزاوج بين الأبوين بواسطة حرف كبير و المتنحى بالحرف الصغير المقابل ، وفى حالتنا هذه فإن حرف T يدل على صفة الطول وحرف t على صفة القصر. نسبة ٣ : ١ التى تظهر فى الجيل الثانى (Tt) يمكن تفسيرها كما يلى : تحتوى الخلايا الجرثومية اليافعة للجيل الأول (T) على جين الطول وعلى جين القصر (t) واثناء عملية الانقسام الاختزالى ( الميوزى ) ينفصل الجنينان عن بعضهما ولهذا فإن نصف البويضات يحتوى على جين الطول (T) والنصف الاخر يحتوى على جين القصر (t) كما يحدث هذا بالنسبة لحبوب اللقاح . وتكون فرصة اخصاب أيبويضة بأى حبيبة لقاح يعطى فى المتوسط نسبة ٣ طويل الى ١ قصير هذا بالنسبة للصفات المظهرية ( المظهر الخارجى ) ولكن يوجد ثلاث انواع منأفراد الجيل الأول بالنسبة للتركيب الجينى : ٢٥٪ يحتوى على جينات الطول و ٢٥٪ يحتوى على جينات القصر ( هذان النوعان نقيان بالنسبة للطول وبالنسبة للقصر ) و ٥٠٪ تحتوى على جين الطول وعلى جين القصر .



ملحوظة :

تتواجد الجينات أزواجا وتعرف بالأليلات alleles التى آتى احدهما من الأب وأتى الإليل الآخر من الأم وتشغل الأليلات اماكن متناظرة على الكروموسومات المتقابلة وهى الالكروموسومات المتماثلة وقد يكون زوج الجينات أو الأليلات متشابهة ( نقية ) pure أو قد تكون غير متشابهة ( خليط أو هجين ) hybrid .



بالنسبة للشكل المظهرى ينتج نوعان : ٣ طويل : ١ قصير ولكن بالنسبة للتركيب الجينى فيوجد ثلاث أنواع .

ولهذا يمكن القول أنه إذا كانت الهجائن فى أى جيل تشبه بعضها البعض فى كل الصفات الجسيمية فإنها تكون ذات شكل مظهرى واحد وتعرف مجموع الصفات التى تظهر على الفرد بالشكل المظهرى phenotype . وهذا الاصطلاح ينطبق على الأفراد التى لها صفات متشابهة .

ويطلق على " المحتوى الجينى " genotype لأى كائن حى بالتركيب الجينى أى انها الحيوى الجينى للفرد . ويطلق هذا الاصطلاح على مجموعة الأفراد تكون متطابقة فى المحتوى الجينى .

وقد يتبين من تجارب التربية على الحيوان نفس النتائج ، فمثلا عندما يتزاوج خنزير غينى اسود مع خنزير غينى آخر أبيض اللون فإن النسل الناتج يكون أسود اللون . معنى ذلك ان اللون الأسود هو السائد على اللون الأبيض . وفى الجيل الثانى تكون النسبة ٣ أسود : ١ أبيض .

## قانون مندل الثانى Second Menddelian law

### قانون التوزيع الحر Law of independent assortment :

تناول قانون مندل الأول نتائج تزاوج الهجين الأحادية . وتطبيقا لهذا القانون فإن الجيل الأول للتزاوج أحادى الهجن يكون تركيبه الوراثى متماثلا ولكن فى الجيل الثانى فإن وحدتى الصفات و( الجينات ) تنعزل بنسبة عددية معينة حسب نوع التزاوج والقاعدة السيتولوجية للقانون الأول هى انفصال فردا كل زوج ومن الكروموسومات المتماثلة اثناء الانقسام الميوزى إلى جاميتات مختلفة .

أما قانون مندل الثانى ، فانه يتناول نتائج تزاوج الهجائن الثنائية ونتائج الهجن العديدة بمعنى تزاوج بين افراد بها زوج أو أكثر من زوج من الأليلات أو الصفات . وينص هذا القانون على ان كل زوج من الأليلات يتوزع مستقلا كما لو كانت الأليلات الأخرى غير موجودة بحيث ان نسبة التوزيع بالنسبة لكل ازواج الصفات المقصودة يمكن احصاؤها بربطها بنسب التوزيع

الفردى . والقاعدة السيتولوجية لهذا القانون تكمن فى الحقيقة أنه أثناء الانقسام الميوزى ( الاختزالى ) ينفصل أعضاء كل فردين فى كل زوج من الكروموسومات المتماثلة وتذهب إلى الجاميتات المختلفة ويجب أن يفهم أن كل زوج من الكروموسومات يتحرك مستقلا عن الأزواج الأخرى . وينطبق قانون التوزيع الحر فقط على الجينات التى تقع على أزواج مختلفة من الكروموسومات .

مثال : الفروة السوداء فى أحد سلالات الفئران تسود على الألبينو ( الأبيض ) والشعر المستقيم ( الناعم ) سائد على صفة الشعر المتموج أو الحشن ، وعندما يتزاوج فأر البينو ذو شعر يتموج مع فأر اصيل بالنسبة للون الأسود وبالنسبة للشعر المستقيم ، فإن افراد الجيل الاول تكون كلها هجين بالنسبة لكلا الجينين وتكون سوداء ذات شعر ناعم .

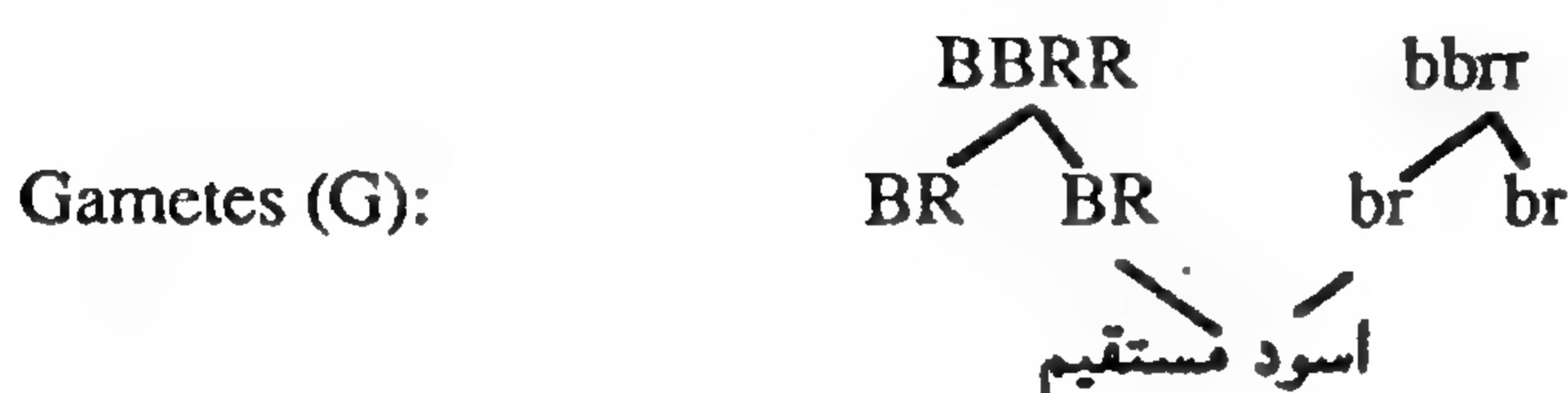
وجين الشعر الاسود السائد يمثل بحرف B وجين الألبينو المتنحى بحرف b وجين الشعر المستقيم السائد بالحرف R وللشعر المتموج المتنحى بحرف r . وعلى هذا فإن التمثيل بالرموز للفرد الأسود ومستقيم الشعر BBRR' وللألبينو المجعد الشعر bbrr . والأب الأول ينتج جاميتات تركيبها الجينى BR والأب الآخر ينتج جاميتات يحمل br ويكون ناتج الجيل الاول BbRr وهو الذى نتج من اتحاد جامستين من هذه الجاميتات المختلفة . وعند تكوين الجاميتات فى أفراد الجيل الأول F1 . وتتفصل الكروموسومات التى تحمل العامل B عن الكروموسوم الذى يحمل r . وتكون حركة هذين الزوجين من الكروموسومات مستقلة عن بعضها البعض بحيث يتكون أربع جامينات متساوية فى عدد هذه الأزواج الاليلية وهذه الجامينات هى : BR - Br - bR - br

وعندما تتزاوج أفراد الجيل الأول ببعضها البعض نجد أن الأربعة أنواع من الحيوانات المنوية المنتجة من الذكور لها فرص متساوية فى تلقيح إحدى البويضات الأربعة التى تكونها الإناث . وبهذا فإن هناك ١٦ توافقا ( اتحادا ) يحتمل ان تتكون أى ان هناك ١٦ احتمالا لتكوين البويضات المخصبة ( الملقحة ) .

وأنسب طريقة لتحديد التوافقات ( الإحادات ) المتوقعة الناتجة من الاتحاد العشوائى بين الجاميتات هو أن تمثل التزاوجات على شكل رقعة الشطرنج checker board plan مع كتاب عوامل أو جينات الجامينات الذكورية على الخط الرأسى والمؤقتة على الجانب الاقصى .

وتمثل الحروف داخل كل مربع اتحاد جامبته ذكرية باخرى انثوية لتكوين الزيجوت ويمثل عدد المربعات فى رقعة الشطرنج عدد النتائج المحتملة. ويستدل من اتحاد الرموز فى اى مربع على الشكل المظهرى phenotype والتركيب الجينى genotype للافراد .

الاباء : البينو مجعد أسود مستقيم Parents, (P) :



F1 : BbRr

انظر الجدول المرفق

يمكن الاستدلال على التركيب الجينى والشكل المظهرى من هذا الجدول . وتكون نسبة التراكيب المظهرية :

٩	أسود مستقيم	( يظهر السائدان )
٣	أسود مجعد	( يظهر السائد الأول والمنتحى الثانى )
٣	ألبينو مستقيم	( يظهر السائد الثانى والمنتحى الأول )
١	البينو مجعد	( يظهر المنتحيان )

نفس هذه النسبة يحصل عليها بسهولة اكثر بعملية ضرب نسبتي الإنعزال لكلا الزوجين لوحدة الصفات اى لكل صفة مستعملة ولهذا فإن :

تعطى ٣ أسود : ١ البينو  
 تعطى ٣ مستقيم : ١ مجعد  
 ( ١ مجعد + ٣ مستقيم ) × ( ٣ أسود + البينو ) تعطى  
 ٣ مستقيم البينو + ٣ أسود مجعد + ٩ أسود مستقيم + ألبينو مجعد ( واحد )



## الارتباط Linkage

يطلق على الجينات التي تقع على نفس الكروموسوم بالجينات المرتبطة Linked genes ولا ينطبق قانون مندل الثانى على هذه الجينات المرتبطة وتطل الجينات الواقعة على نفس الكروموسوم مرتبطة ببعضها عندما تنتقل من فرد الى آخر . ومن الطبيعى أنه عندما يدخل جينان يفعان على كروموسوم واحد فى عملية تزاوج بين أحد الابوين فانهما يبقيان مع بعضهما فى الأفراد الناتجة .

توجد درجات متباينة من الارتباط تتراوح بين الارتباط التام حيث تبقى الجينات دائما مرتبطة ببعضها على نفس الكروموسوم فى الاجيال المتعاقبة بينما توجد حالات أخرى تبدى الجينات ميلا ضعيفا جدا لأن تلتصق ببعضها بل تميل إلى التوزيع الحر . ويوضح المثال التالي الارتباط التام فى ذبابة الفاكهة " الدروسوفيلا " . منذ تزاوج ذبابة برية ذات جسم رمادى (gray) وذات اجنحة طويلة (long) بذبابة أخرى تظهر طفرتان متنحيتان هما لون الجسم الاسود (black) والجنح المختزل (vestigial) فإن نسل الجيل الأول (F1) يكون رمادى الجسم طويل لأجنحة أى انه يكون مظهريا مشابها للابوين البريين .

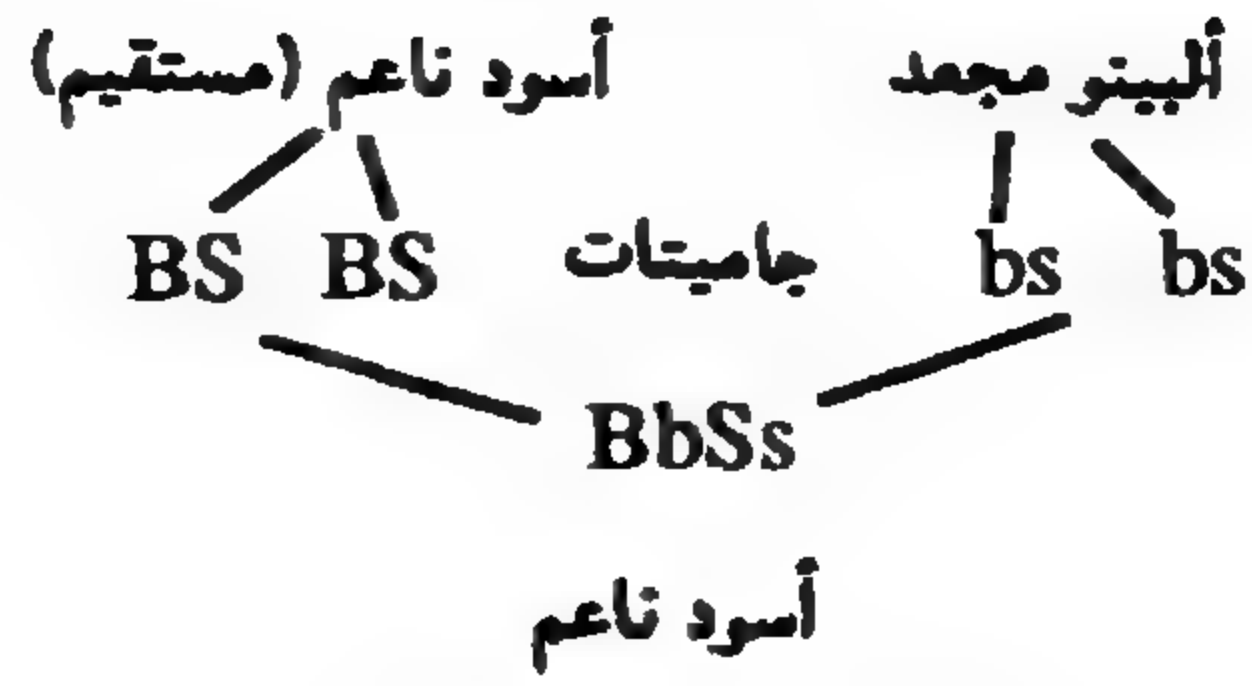
وظاهرة الارتباط هذه شائعة بين الحيوانات والنباتات . وقد أدى اكتشافها إلى التقدم فى معلوماتنا عن عملية التوديث . وعن طريق سلسلة طويلة من التجارب الوراثية امكن تنظيمي صفات ذبابة الدروسوفيلا إلى مجاميع تبعا لعلاقة الارتباط بينها . وتعرف هذه المجاميع بالمجاميع الارتباطية linked groups وقد وجد أن عدد مثل هذه المجاميع يمثل العدد الفردى للكروموسومات . وهذه الحقيقة أعطت مؤازرة إضافية للرأى القائل أن الكروموسومات هى التى تحمل الجينات وتحدد الصفات الوراثية .

## العبور Crossing over

العبور هو تبادل القطع بين الكروموسومات المتماثلة وهو نادرا جدا ما يكون تاما ويحدث فى الحيوان والنبات وفى كلا الجنسين وفى مرحلة تسبق مباشرة الانقسام الميوزى وعندما يتم الاتزان أو اقتران الكروموسومين المتماثلين يحدث تبادل اجزاء متساوية بين كرماتيدين غير شقيقتين وهذه هى عملية العبور التى تمكن الجينات من الانتقال من

P

BBSS X bbss



F<sub>1</sub>

BbSs x BbSs

♂ gametes

BS

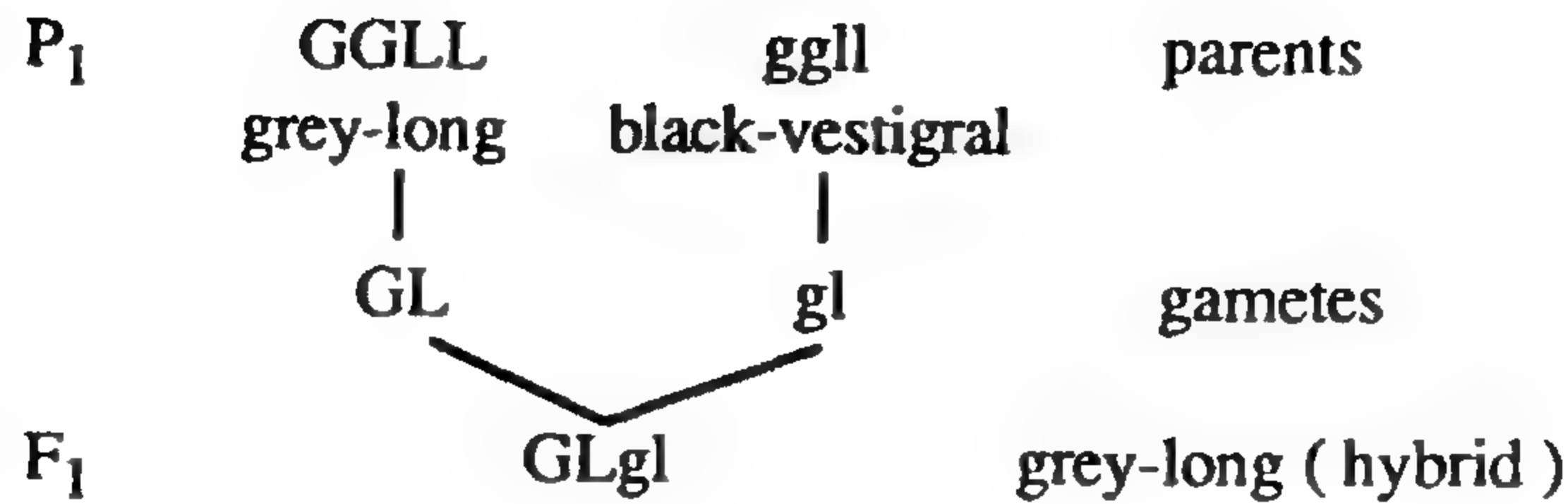
Bs

bS

bs

♀ gametes	BS	Bs	bS	bs
BS	BBSS black straight أسود ناعم	BBSS black straight أسود ناعم	BBSS black straight أسود ناعم	BBSS black straight أسود ناعم
Bs	BBSs black straight أسود ناعم	BBss black wavy أسود مجعد	BbSs black straight أسود ناعم	Bbss black wavy أسود مجعد
bS	BbSS black straight أسود ناعم	BbSs black straight أسود ناعم	bbSS albino straight البينو ناعم	BBSs albino straight البينو ناعم
bs	BbSs black straight أسود ناعم	Bbss black wavy أسود مجعد	bbSs alpino straight البينو ناعم	bbss alpino wavy البينو مجعد

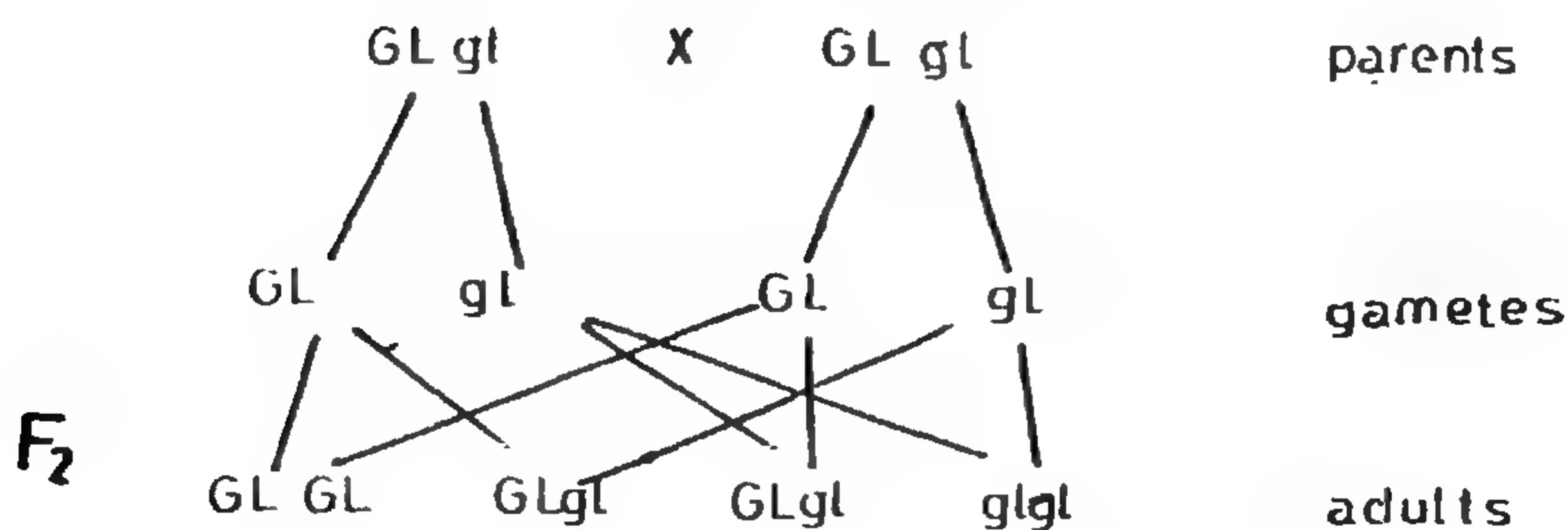
كروماتيدية الى الكروماتيدية المقابلة فى المجموعة الكروماتيدية الثانية وتنضم إلى مجموعة مختلفة من الجينات . وتدل الشواهد على أن العبور لا يتم عشوائيا ولكنه يعطى نتائج عديدة محددة كما يبين فى هذا المثال .



عند تزواج أنثى الدرسوفيللا الرمادية ذات الجناح الطويل مع ذكر اسود له جناح مختزل فإن النسل الناتج فى F<sub>1</sub> يكون كله رماديا ذا اجنحة طويلة . واذا تزاوجت أنثى ثنائية الهجين من الجيل F<sub>1</sub> مع ذكر له الصفتان المنتخبتان ( اسود - مختزل ) فإن النسل الناتج يتكون من أربعة انواع وهى رمادى - طويل ، اسود - مختزل ، وهما يمثلان الاجداد ( الالباء ) وتتكون مجموعتان جديدتان هما رمادى - مختزل ، اسود - طويل ويطلق عليها مجموعتى العبور Crossovers . فى هذه التجربة نجد ان ٨٣٪ ( ٤١٥ + ٤١٥ ) من الناتج لم يحدث بها عبور ، ١٧٪ ( ٨٥ + ٨٥ ) حدث بها عبور او مجاميع جديدة new combinations .

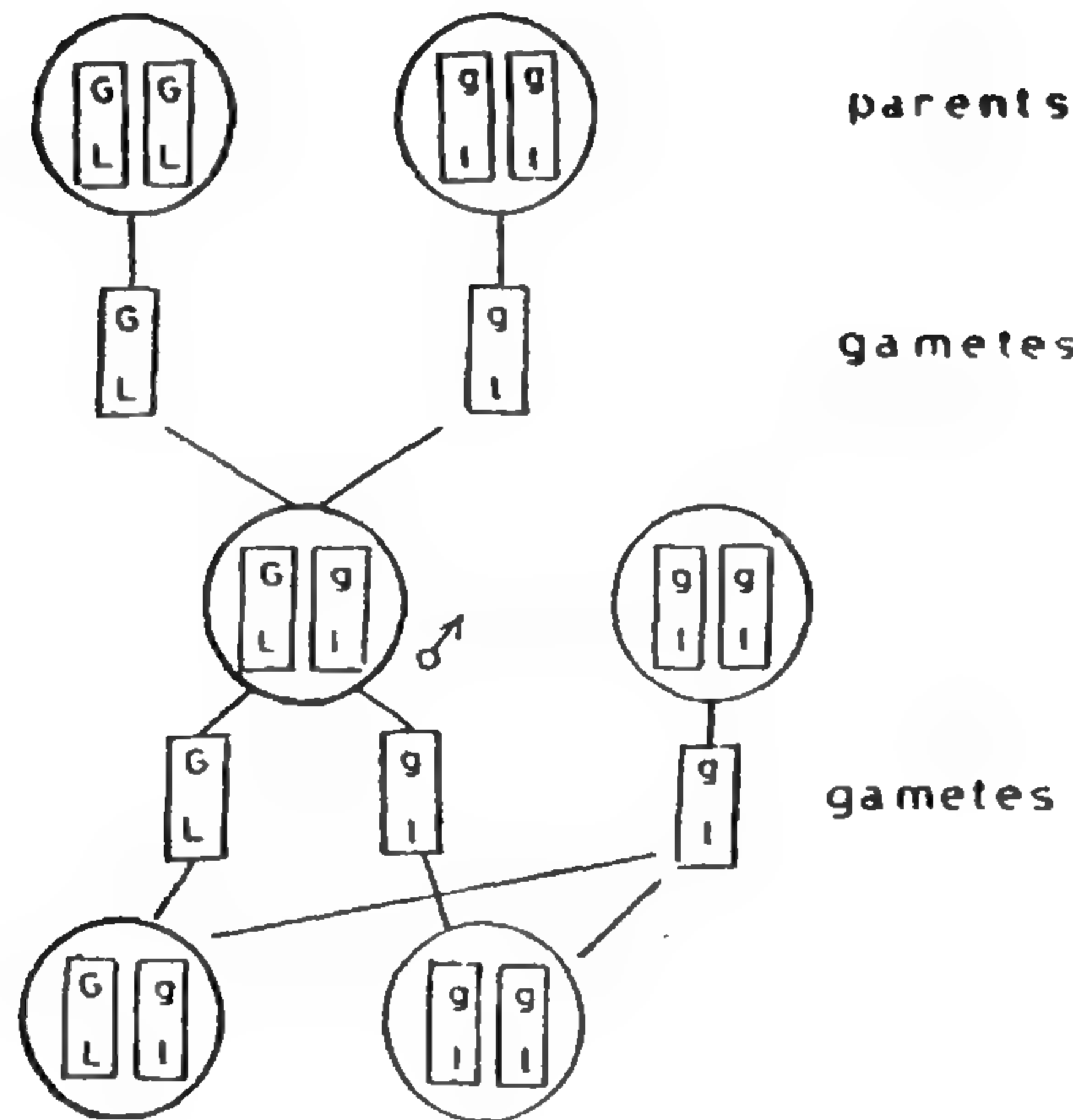
ويجب ملاحظة ان التوزيع الحر يشمل الكروموسوم ككل ولكن العبور الوراثى يتناول اجزاء فقط من الكروموسومات .

ويمكن تمثيل المثال المذكور بالاشكال التالية :





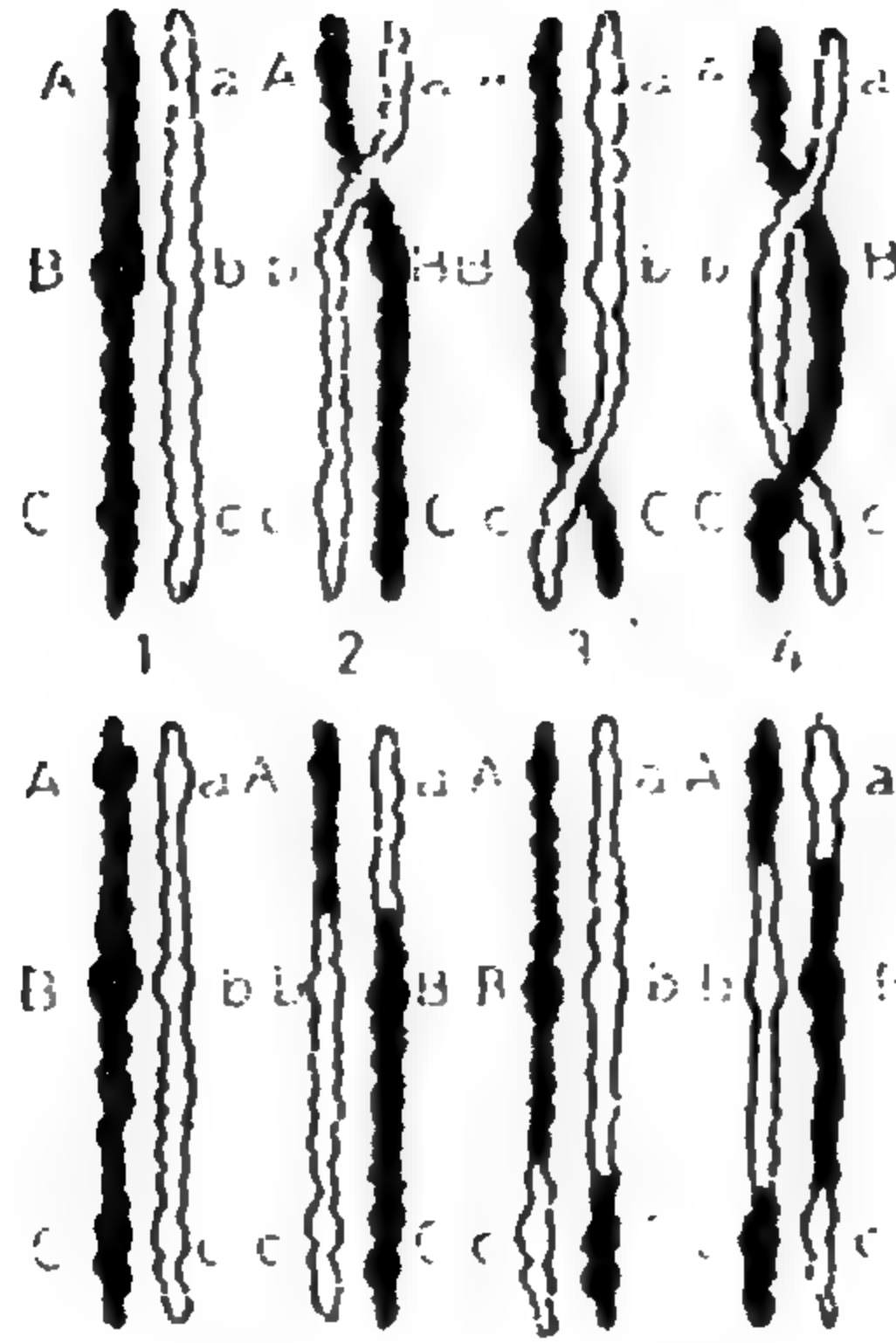
ويتضح من هذا الشكل انه فى الكروموسومين أن صفتى الرمادى والطول تدخلان مع بعضهما فى تزاوج ثنائى الجين وتخرجان مع بعضهما بمعنى أنهما مرتبطان ونفس الصفة تحدث بالنسبة للصفات الأخرى ( اسود - ومختزل ) ولكن فى كروموسومين آخرين قد حدث العبور حيث انتقل جين اللون الاسود الى الكروموسوم الآخر وانتقل الجين - الرمادى إلى الكروموسوم الذى انتقل منه جين اللون السود



### الكيازوماتا Chiasmata

لقد ذكر سابقا انه اثناء الطور الانفراجى diplotene stage فى الانقسام الميوزى تميل الكروموسومات المتماثلة الى الانفصال عن بعضها ولكنها تبقى متصلة فى بعض النقاط القليلة حيث نجد ان كروماتيدين من الأربعة كروماتيدات تتقاطع مع بعضهما ، ومكونة شكل X وتعرف هذه بالكيازوماتا . ونستطيع أن نحدد الكيازوماتا بانها تتكون من كروماتيدين من الكروماتيدات الأربعة لمجموعة ثنائية الكروماتيدات فى مستوى واحد فى نهاية الطور الضام ثم

تلتحمان حتى يتم تبادل القطع ( العبور ) بين الكروماتيدين ( واحد منها من الأب والآخرى من الأم ) كل كيازما ما هي الا علامة على حدوث العبور الوراثى والكيازمات ظاهرة عامة- ما عدا حالات قليلة فى النبات والحيوان .



( شكل ١١٤ )

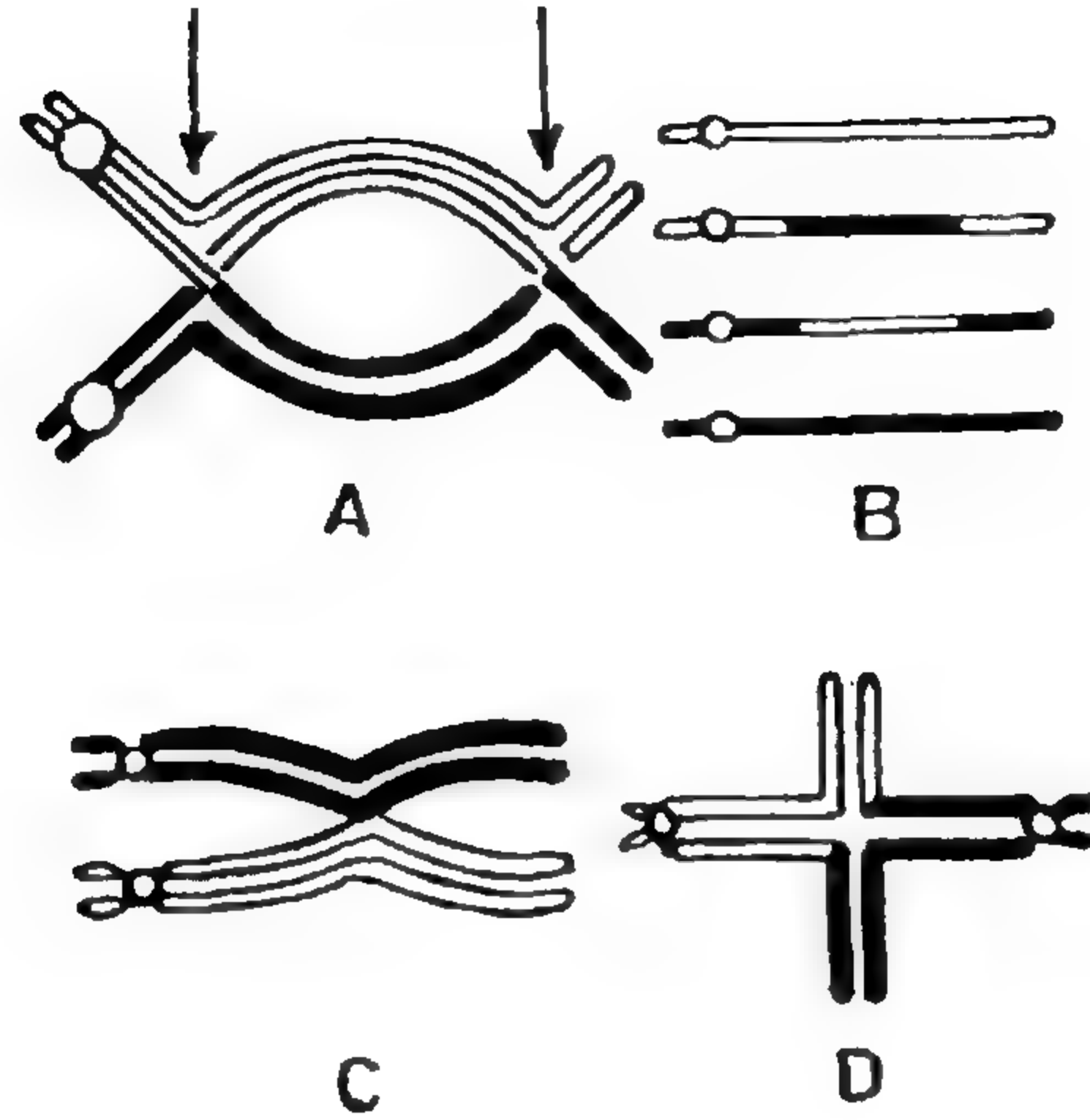
شكل يبين ميكانيكية العبور بين الكروماتيدات

ويسبب وجود قوة التنافر التى تعمل بين الكروموسومات المتماثلة فى المجموعة الثنائية اثناء الطور التشتتى diplotene stage فانه تتكون لفات بين الكيازمات ولهذا فان الطور التشتتى له مظهر معين فالثنائى ذو الكيازما الواحدة التى تقع فى منتصف الطريق على امتداد طول الثنائى bivalent مكونة تركيباً ذو أربعة أذرع بينما الثنائى عديد الكيازمات يظهر به عدة لفات مصحوبة بنصف لفة عند نهاية من النهايات .

فى المجموعة الثنائية ذات الكيازما الواحدة يدور ذراعان من الاذرع فى المجموعة الخلال بزواية مقدارها ١٨٠ درجة ( بالنسبة للذراعين الآخرين ) وينتج عن ذلك ان الثنائى bivalent ذو الكيازما الواحدة فى المرحلة التشتتية المبكرة يصبح مشابهاً للمرحلة التشتتية النهائية .

فى حالة المجموعة الثنائية عديدة الكيازمات فان الدوران يكون عادة خلال زاوية مقدارها ٩٠ . ولهذا فان اللفات المتتالية بين الكيازمات تصبح واقعة فى مستويات عمودية على بعضها البعض .

من الواضح أن الكروموسومات التي تنفصل في الطور الانفصالي anaphase stage للانقسام الميوزي الأول لا تكون مطابقة للكروموسومات التي ازدوجت خلال الطور الإزدواجي zygotene stage نتيجة للكسور التي حدثت أثناء المرحلة التشثيتية pachytene stage والذي يحدث في مستوى واحد في كروماتيدين من الأربع كروماتيدات لمجموعة كروموسومية



(شكل ١١٥)  
شكل آخر يبين خطوات العبور

الثنائية . وينتج عنه تبادل القطع بين الكروموسومات الاتية من الاب والآخرى الاتية من الأم . ولهذا فإن هاتين الكروماتيدتين تكونان خليطا نتيجة لهذا التبادل .

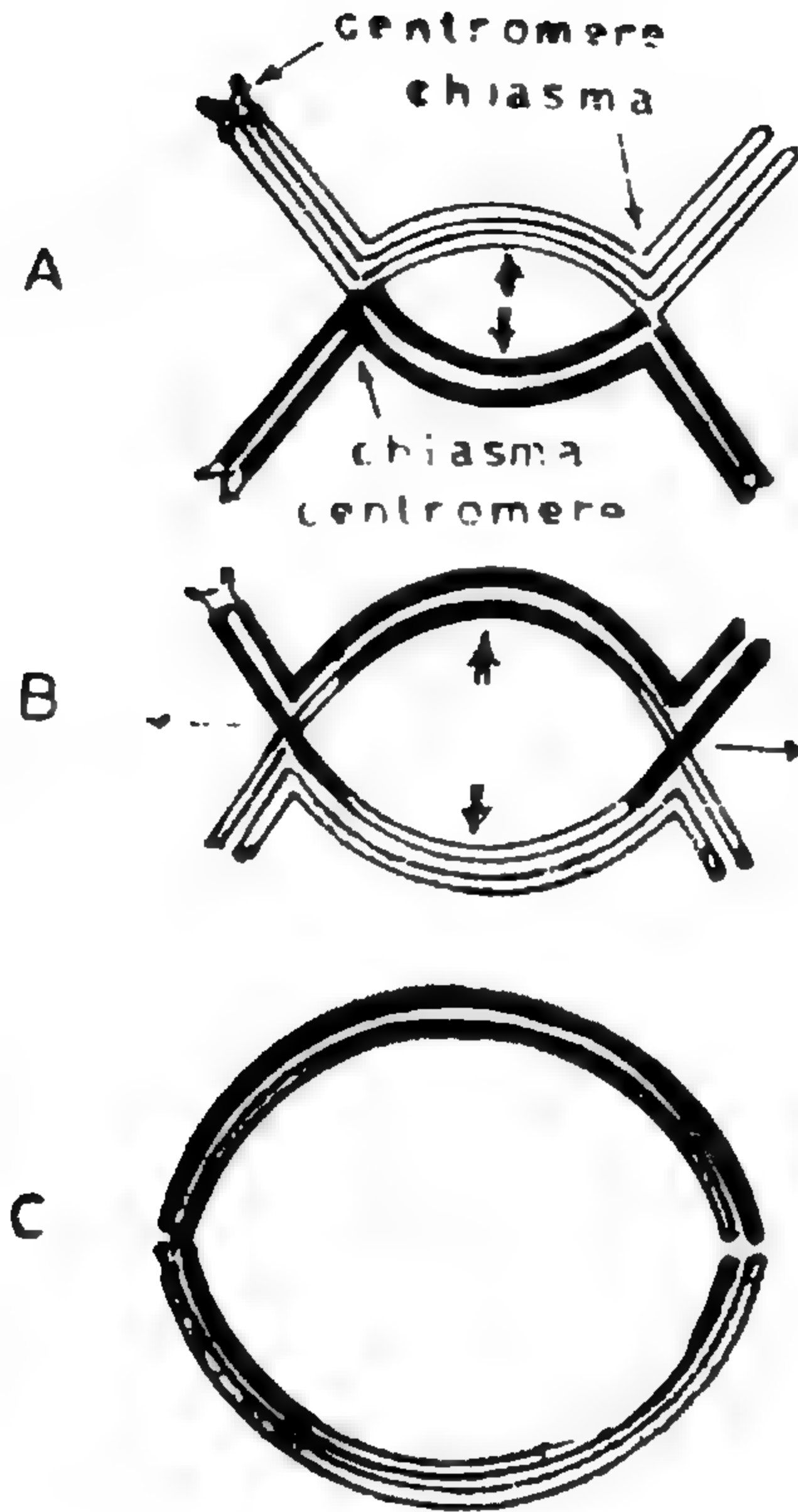
ومن المحتمل أن يحدث الكسر في كروماتيدة بسبب تركيز الشد أو الاجهاد في الكروموسومات التي تلتف التفافا حلزونيا . ونتيجة لهذا الكسر فإن الشد يقل في المناطق المجاورة على الكروموسوم وعلى هذا فإن العبور لا يحدث على جانبي الكيازما وهذا ما يعرف بالتداخل interference .

ويختلف عدد الكيازماتا في الكروموسومات المختلفة ويوجد على الأقل كيازما واحدة في كل ثنائي وقد يوجد العديد من الكيازمات قد يصل الى ١٣ كيازمات في المجموعة الثنائية . ومتوسط عدد الكيازماتا التي توجد في الثنائي أو في المجاميع الثنائية لنواة واحدة



عرف بالتردد الكيازمى chiasma frequency . وإذا كان فى المتوسط كيازما واحدة فى كل ثنائى فإن الثنائى يقال عن انه له تردد كيازمى = ١ .

واخيرا فإنه فى بعض الأنواع يحدث العبور فى مناطق محددة ومعينة ولكنه قد يحدث أيضا فى أى منطقة فى الكروموسوم .



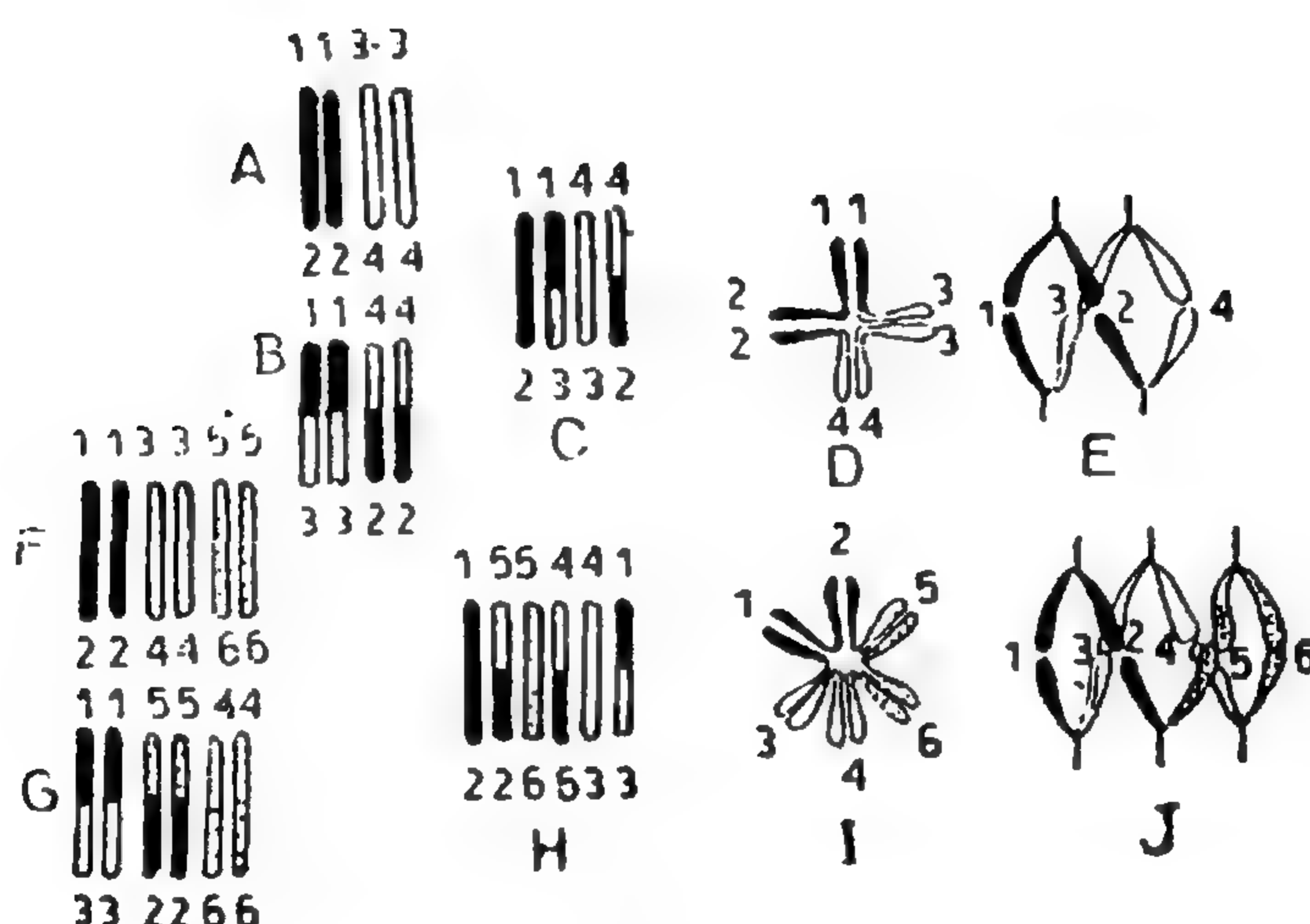
(شكل ١١٦)  
خطوات انتهاء الكيازمات

#### الانزلاق الطرفى Terminilization

من التغيرات التى تحدث فى الثنائيات الكروموسومية أن تتحرك الكيازمات وتتحرركا طفيفا فى اتجاه نهايات الكروموسومات وقد يحدث ان تنتقل الكيازمات إلى النهايات القصوى

للثنائى الكروموسومى . وفى هذه الحالة فإن الكروماتيدات الاربعة تبقى ملتصقة عند نهايتها . ويجب ملاحظة ان الكيازما المربية تتحرك لكن النقط التى تلتقى عندها الاجزاء الكروموسومية الآتية من الاب وتلك الآتية من الأم قد التحمتا مع بعضها أى ان ( نقط العبور الوراثى ) لا تتحرك مطلقا .

ويرجع الانزلاق الطرفى الى قوة التنافر التى تكون كامنة داخل اللفات الكروموسومية المغلقة او الكاملة عنها فى نصف اللفات الموجودة عند الأطراف وقد تستمر فى الطور الاستوائى .



(شكل ١١٧ ب) تبادل اجزاء الكروماتيدات

## التغيرات التركيبية للكروموسومات

### Structural rearrangements of chromosomes

سبق ذكر بعض التغيرات الكروموسومية فى اثناء عملية الإنقسام الإختزالى مثل الانقلاب inversion والانقسام deletion وأحيانا ينتقل جزء من كروموسوم الى كروموسوم آخر لا يكون متماثلا ويطلق عليه هذه العملية الإحلال او الانتقال translocation . وعملية الإحلال هذه قد تستلزم او لا تستلزم تبادل عكسى للأجزاء وقد ينتج بذلك كروموسوم بدون سنتروميوز بينما يكون للكروموسوم الآخر سنتروميوزان ولهذا فإنهما لا يسلكان سلوكا طبيعيا أثناء عملية الإنقسام غير المباشر .

ويحدث الإحلال العكسى فى الطبيعة فى بعض الحيوانات وبعض النباتات ويجب أن تميز بين الإحلال والعبور ، ففى الإحلال نجد أن قطعة من كروموسوم تلتحم بالكروموسوم غير المماثل ( مناظر ) والذي يبقى غير مكسور ولكن فى العبور يوجد تبادل عكسى بين أجزاء متناظرة للكروموسومات المتناظرة .

وعندما تنفصل قطعة من الكروموسوم ثم تلتصق بكروموسوم مناظر ، أو عندما تنفصل قطعة من كروموسوم فانها تترك خلفها كروموسوما ناقصا فقد مجموعة من الجينات التى كانت تقع على الجزء المفقود . وفقدان جزء من الكروموسوم نتيجة لعملية الكسر عند نقطة أو نقطتين تعرف بالانقصام deletion وعملية الانقصام هذه . وكذلك عملية الانقلاب inversion عادة ما تكونان عمليات اضافية . ووجود قطعة أو قطع من الكروموسوم أكثر من مرة على نفس الكروموسوم تعرف بالإزدواج أو التضاعف duplication هذه القطع قد تبقى متجاورة لبعضها أو قد تكون منفصلة عن بعضها وقد تكون مقلوبة أو تشل موقعها المعتاد فى الكروموسوم .

### التغيرات فى الأعداد الكروموسومية Changes in chromosome numbers

وهذه تشمل الحالات التالية :

المجموعة الاحادية : Haploidy بعض النباتات والحيوانات لها مجاميع كروموسومية أحادية بمعنى مجموعة فردية من الجينات وهذا يعنى أن الكروموسومات والجينات المتناظرة ( المماثلة ) غائبة وامثلة ذلك الحشرات مثل ذكور النمل الدبور والنحل .

المجموعة التعددية Polyploidy : وهذا يعنى وجود أكثر من مجموعتين احاديتين من الكروموسومات ومثل هذه الحالات قد تكون ثلاثية املجموعة triploidy أو رباعية أو خماسية Pentaploidy tetraploidy ... وهكذا . والخلايا التى تتواجد بها التكرارية الكروموسومية غالبا ما تقابل فى بعض الحالات المرضية ويمكن التوصل اليها باستخدام مواد خاصة مثل الكولشاسين ويتأثير البرودة الحرارة ومثل هذه العوامل تعمل على منع تكون المعزل ، ولهذا فإن انقسام الخلية لا يصل الى نهايته . وبعد فترة معينة تبدأ الخلية عملية انقسام ثانية فى هذه الحالة تكون مزدوجة العدد الكروموسومى .



## مجموعة زائدة الكروموسوم Aneuploidy

### كروموسوم زائد Polysomy

فى هذه الحالة نجد ان كروموسوم أو اكثر يتضاعف . ويقال عندئذ ان الكائن الحى عديد الكروموسومات polysomic . ويحدث هذا نتيجة فشل الكروموسومات فى الانفصال أثناء الانقسام الميوزى . وقد يحدث ان أحد الكروموسوم الذى يصحب نظيره ويذهب الى نفس قطب المغزل ويدخل معه فى نفس الجاميطة ، وتعرف هذه الظاهرة ايضا " عدم الانفصال " non-disjunction وعندما تتحد مثل هذه الجاميطة مع جاميطة عادية فإن الفرد الناتج يعرف بثلاثى الكروموسوم trisomy (ثلاثى الاجسام) وقد ينتج من ذلك بعض الصفات الوراثية غير العادية مثل المنجولية mongolism فى الإنسان .

### مختلفات المجموعة الكروموسومية Allopolyploidy :

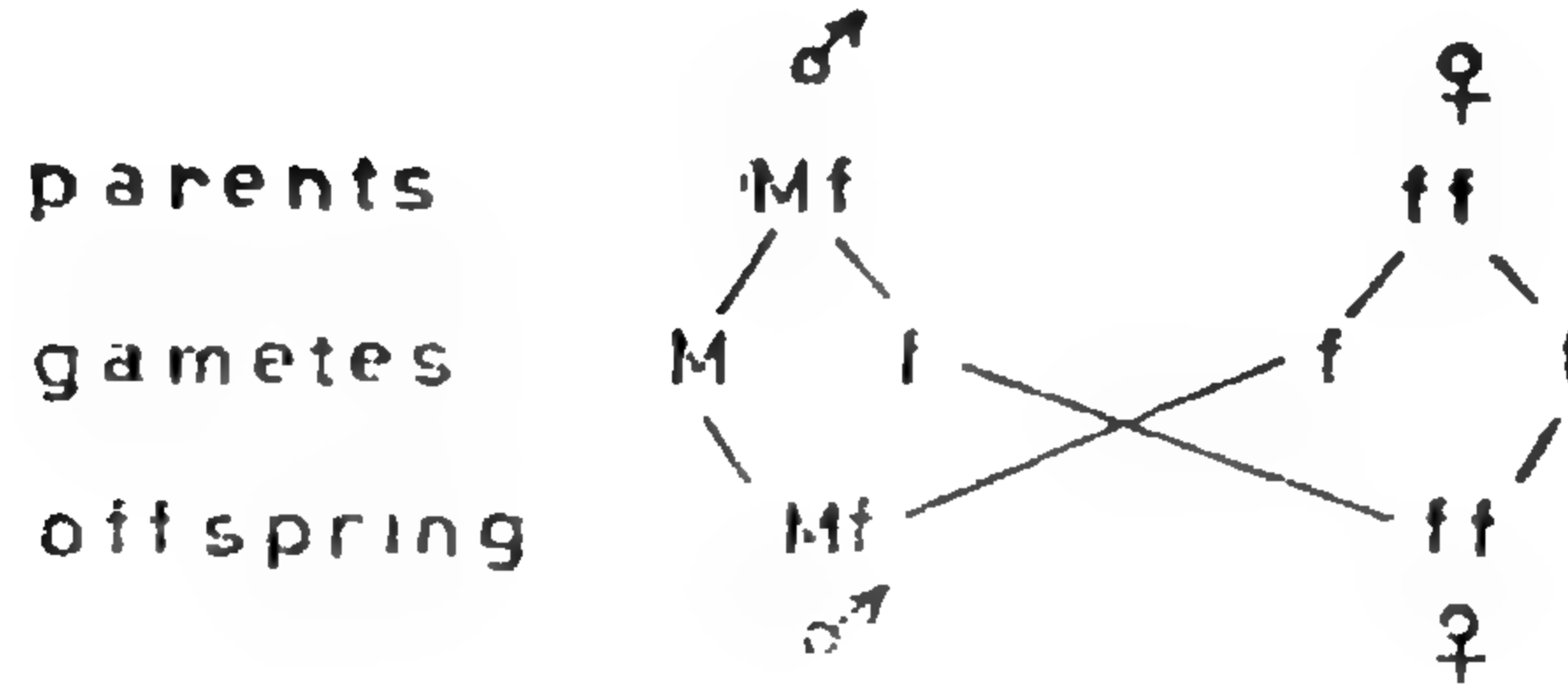
وينتج هذا النوع من الاختلاف الكروموسومى عند تزاوج بين نوعين من الكائنات الحية التى بها مجاميع مختلفة من الكروموسومات . ويكون للهجين الناتج عدد كروموسومى مختلف عن الأبوين وذلك مثل نتاج البغل mule نتيجة تزاوج الحمار والحصان .

## الفصل التاسع عشر

### الكروموسومات وتعيين الجنس

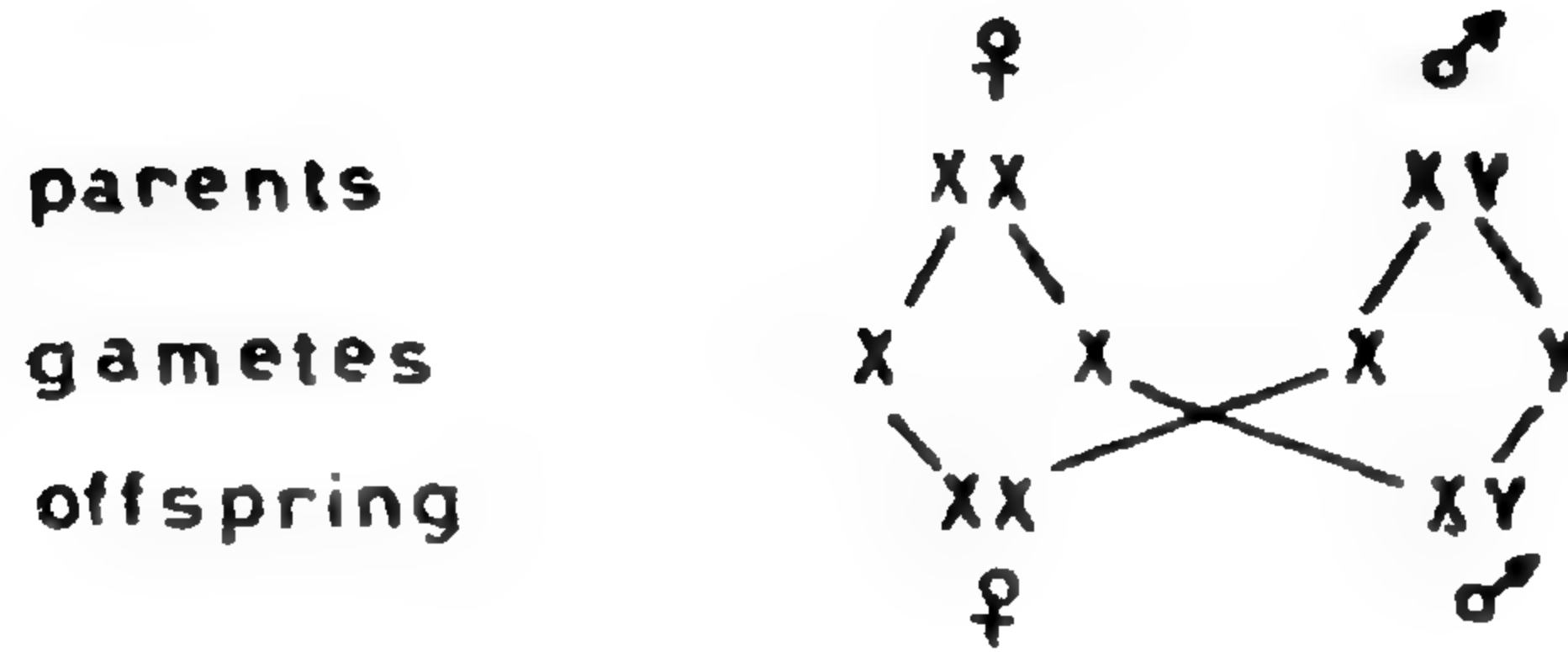
#### CHROMOSOMES AND SEX DETERMINATION

على الرغم من أن عملية تحديد الجنس معلومة إلى حد ما إلا أنه ليس هناك طريق معروفة للتحكم في جنس النسل الناتج . وقد وضعت افتراضات مختلفة لها مدلول تاريخي هام ومنها ما افترضه داونسون Dawson بأن المبيض الأيسر والمبيض الأيمن يعطيان بويضات تنتج ذكورا وإناثا بالتبادل ، وهذا اعتقاد خاطئ حيث أنه إذا أزيل مبيض من امرأة أو من حيوان فإن المبيض المتبقى ينتج ذكورا وإناثا . وهناك افتراض آخر وضعه شنك shank وهو أنه إذا أعطيت الانثى غذاء خاصا فانه يؤثر على نوع الجنين ومن المعلوم تماما الآن أنه لا يمكن تغيير الذكر إلى أنثى والعكس عن طريق التغذية لأن الجنس يتحدد وقت إخصاب البويضة . وتشير الدراسات الوراثية أن الذكورة والأنوثة ما هي إلا صفات وراثية تنتقل من الأباء إلى الأبناء بنفس الطريقة التي تنتقل بها الصفات الوراثية والأخرى وبمعنى آخر فإن الجنيات الجنسية توجد في الكروموسومات . وكان كورنز Correns (١٩٠٧) هو الذي أظهر لأول مرة أن تحديد الجنس يتم تبعا لقانون مندل لإنعزال العوامل وقد درس كورنز في هذا المجال نبات البريونيا الذي به النبات الذكر هجيناً - النبات الانثى نقياً متنحياً .



وقد أظهرت الأبحاث انه فيما عدا الطيور والفراشات - نجد أن الذكور مختلفة الجاميتات وهذا بمعنى أن الذكر ينتج جاميتات من نوعين : ( ذكور - وإناث ) . أما البيض فكلها متشابهة الجاميتات ( نوع واحد فقط ) . ولهذا فان مشكلة تنظيم تحديد الجنس تكون متوقفة على نوع الحيوانات المتوبة التي تنتج ذكورا أو إناثا .

وتوجد فى كل الحيوانات كروموسومات جسمية أو ذاتية autosomes تعرف بالكروموسومات العادية علاوة على الكروموسومات الجنسية sex chromosomes ويوجد كروموسومات جنسيان فى الانسان هما  $x, y$  . وينفصل كروموسوم  $x$  وكروموسوم  $y$  عن بعضهما أثناء انقسام الخلايا بحيث أن نصف الحيوانات المنوية تحتوى على ٢٢ كروموسوم جسمى  $x +$  كروموسوم والنصف الاخر يحتوى على ٢٢ كروموسوم جسمى  $y +$  . أما البويضات الناضجة فكلها تحتوى على  $x$  كروموسوم . فإذا لقح حيوان منوى يحمل  $x$  ببويضة ما فإن الكائن الناتج يكون اثنى . ولكن اذا كان الحيوان المنوى يحمل  $y$  ويلقح البويضة فإن النسل يكون ذكرا وهذا يعرف بنظام  $XY - XX$  تحديد الجنس .



ومن الحقائق المعروفة ان الحيوانات المنوية للأنسان تنقسم الى مجموعتين متساويتين مجموعة  $x$  ، ومجموعة  $y$  كروموسوم ولذلك فانه يمكن افتراض بان الجنسين يتساويان فى العدد فى العشاء على الاقل بالنسبة للسن المبكر .

#### نظام تحديد الجنس Types of sex determination

يمكن تلخيص نظم تحديد الجنس الرئيسية كما يلى :

١ - تحديد الجنس بواسطة التوازن الجنينى بين  $x$  كروموسوم والكروموسومات الجسمية ( تحديد الجنس فى ذبابة الفاكهة أو نظرية بريدج لتوازن الجنس ) .

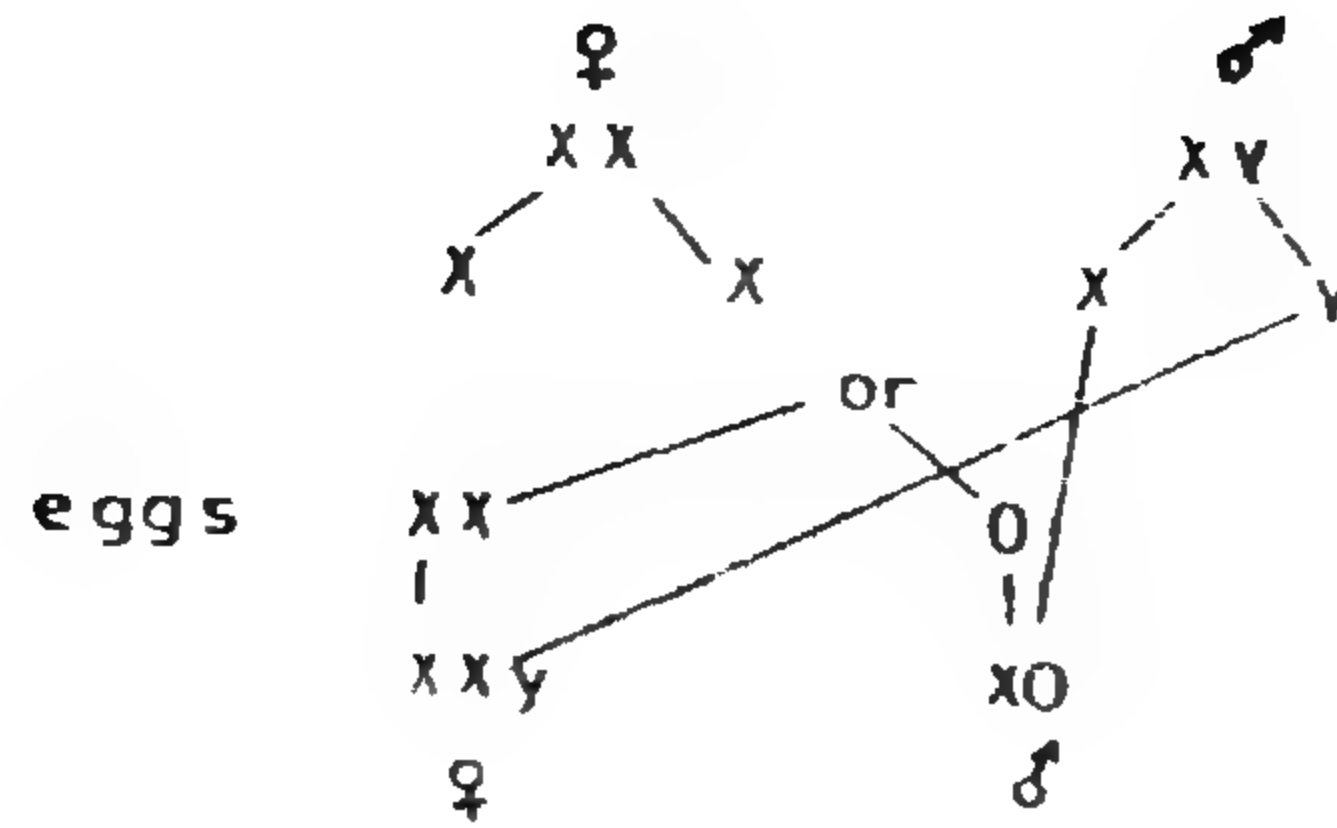
اثنى ذبابة الفاكهة بها الكروموسومات الجنسية  $xx$  والذكر  $xy$  ومن المحتمل أن يشك الانسان فى أن كروموسوم  $y$  يحتوى على العوامل محدد الذكورة أو أن أى حيوان يحمل كروموسوم  $y$  لابد ان يكون ذكرا .



وقد وجد بريدجز (١٩١٣ - ١٩١٦) أن الكروموسومات الجنسية فى ذبابة الفاكهة لا تنعزل دائما بانتظام وان البويضات قد تحتوى على xx بدلا من x واحدة وعند تلقيح بويضة من هذا النوع بواسطة حيوان منوى يحمل y فانه ينتج انثى استثنائية ذات تركيب xxy .

ومن الممكن الحصول على الأفراد ذات التركيب (xo) إذا لقحت البويضة التى ينقصها كروموسوم x حيوان منوى يحمل x كروموسوم . ومثل هذا الذكر يكون عقيما بالرغم من أن به الصفات الشكلية العادية . ولهذا فإنه من الطبيعى أن نستنتج أن كروموسوم y فى الدروسوفيللا وإن كان ليس له دخل فى تحديد الجنس إلا أن وجوده ضرورى لإنتاج ذكور مخصبة . ومن المعلوم الآن أنه عند تناول نظام xy - xx يلاحظ أن الأنثى تظهر على الكائن عند وجود جرعة مزدوجة من الكروموسوم x وأن الذكورة ترجع إلى وجود جرعة مفردة من كروموسوم x ، وهذه المعلومة بها شئ من الحقيقة ولكن مشكلة تحديد الجنس تصير معقدة عند تواجد افراد ذات جنس وسط intersexes علاوة على وجود افراد ذوات جنس متفوق super sexes .

إذا مثل الحرف x الكروموسوم الجنسى والحرف A مجموعة أحادية من الكروموسومات الجسمية فإن انثى ذبابة الفاكهة تكون XXAA والذكر XYAA وحيث ان الكروموسوم Y هو كروموسوم خامل فمن الممكن اعتبار الذكر XAA وإذا افترضنا ان عوامل الانوثة (F) femaleness موجودة فى الكروموسومات الجنسية X ، فان عوامل الذكورة (M) maleness لابد أن تكون فى الكروموسومات الجسمية . وهذا يعنى أن الجنس يعتمد على العديد من الجنيان التى يجب أن تكون منتشرة وموزعة بين الكروموسومات الجنسية والكروموسومات الجسمية وان تحديد الجنس مشروط بالنسبة بين عدد الكروموسومات الجنسية x الكروموسومات الجسمية A . وقد استطاع بريدجز ان يظهر ان الأنثى ثلاثية المجموع الكروموسومى (XXXAAA) عندما تتراوح مع ذكر عادى (XAA) فإنها تعطى أربعة أنواع من البويضات التى عند تلقيحها بنوعين من الحيوانات المنوية تنتج التالى :



نوع الافراد	العلاقة الكروموسومية	الزيجات	المنيات	البويضات
ثلاثية المجموعة	1.00	3X3A	XA	2X2A
ثنائية المجموعة	1.00	2X2A	XA	1X1A
انثى فائقة الانوثة	1.50	3X2A	XA	2X1A
بين جنسية	0.67	3X3A	XA	1X2A
بين جنسية	0.67	2X3A	A	2X2A
ذكور	0.50	1X2A	A	1X1A
انثى زوجة	1.00	2X2A	A	2X1A
ذكر فائق الذكورة	0.33	2X3A	A	1X2A

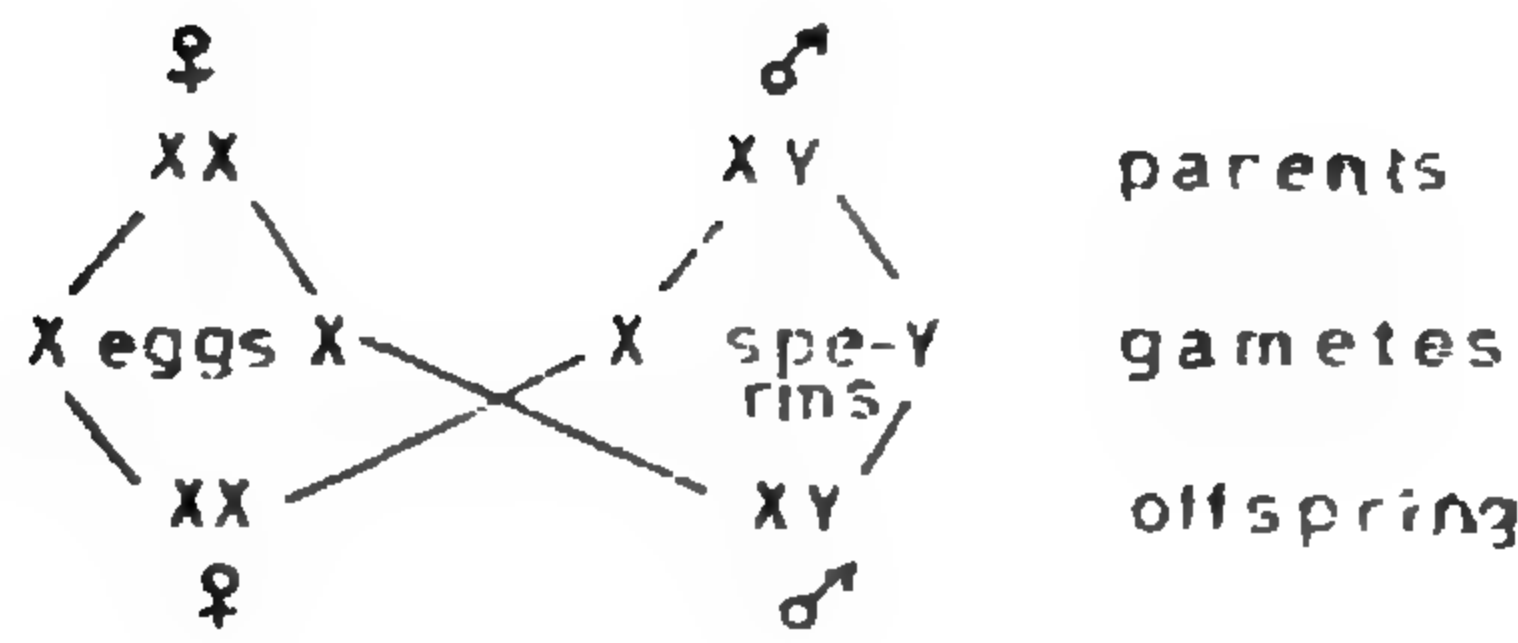
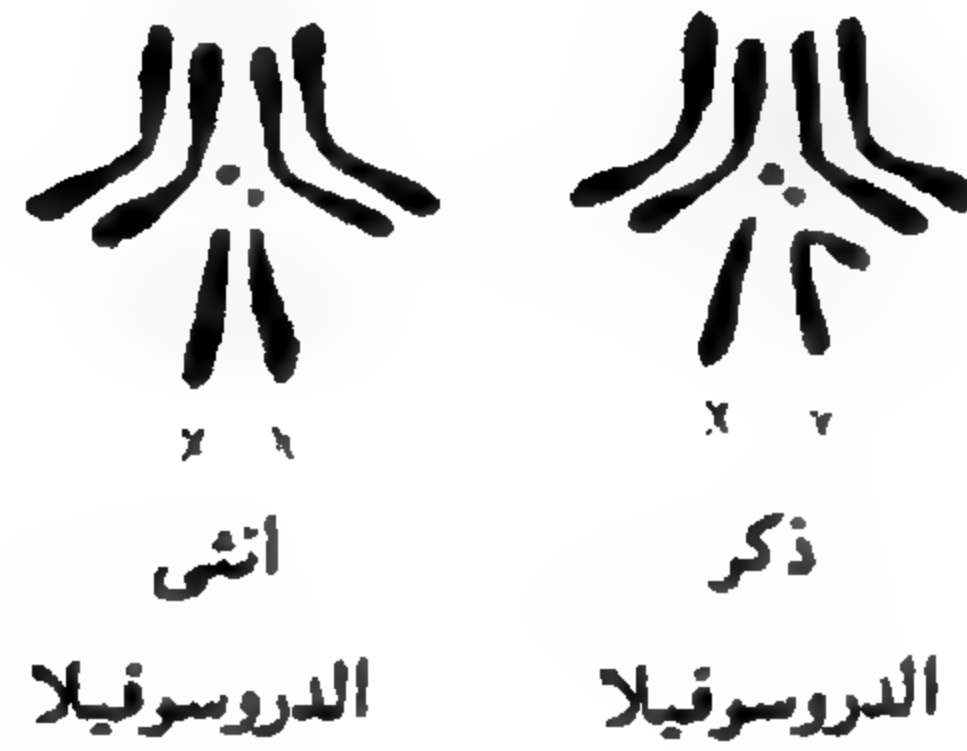
ويتضح من هذا الجدول أن الجنس لا يتحدد بالعدد المطلق للكروموسومات ولكن بالعلاقة بين عدد الكروموسومات الجنسية X والكروموسومات الجسمية A .

فإذا كانت هذه العلاقة = ١ ( واحد ) فإن الحيوان يجب أن يكون انثى وإذا كانت = ٥ر فإن الحيوان يكون ذكرا . ولكن إذا كانت النسبة تقع بين ١ ، ٥ر أى ٦٧ر. أو ٧٥ر. فإن الحيوان يكون وسطا بين الجنسين ( الحيوان يظهر خليط من الصفات الانثوية والصفات الذكورية ) وإذا كانت النسبة أعلى من ١ فإن انثى غير عادية تتكون ( انثى متفوقة ) وإذا كانت النسبة أقل من ٥ر. فإنها تنتج ذكرا متفوقا ( غير عادى ) وعلى الرغم من أن هذه الحيوانات تكون متفوقة كنسبيا إلا أنها عقيمة وبدل هذا على أن هناك درجة معينة من الجنسية التى تسمح بالتكاثر .

## الكروموسوم x عديد الجينات فى ذبابة الفاكهة

Polygenic x chromosome in drosophila

اصبح من الحقائق المعروفة أن كروموسوم x يحتوى على العديد من الجينات المحددة للأنوثة موزعة على طول الكروموسوم وذلك باستعمال فتات من الكروموسوم x حصل عليها بالمعاملة باشعة x . وقد وجد أنه باستطالة الفتاة التى يمكن ادخالها فى الجنس الثينى intersex (2x3A) يزداد التأثير الانثوى فى هذا الجنس أما بالنسبة للكروموسومات الجسمية فقد تبين أن الكروموسومات الجسمية الطويلة تحتوى على محددات ( ميعنات ) الذكورة فى بعض المناطق بينما يبدو أن الأزواج القصيرة من الكروموسومات الجسمية لا تحتوى على الجينات المحددة للذكورة .



ويعتقد هوايت white (١٩٤٥) أن الجنس يتحدد فى ذبابة الفاكهة عن طريق التوازن بين نظامى الجينات العديدة فى x كروموسوم والكروموسومات الجسمية الكبيرة .

٢ - تحديد الجنس بواسطة العمل المتبادل بين x و y أو تحديد الجنس بواسطة كروموسوم y (طراز ميلاندريوم) .

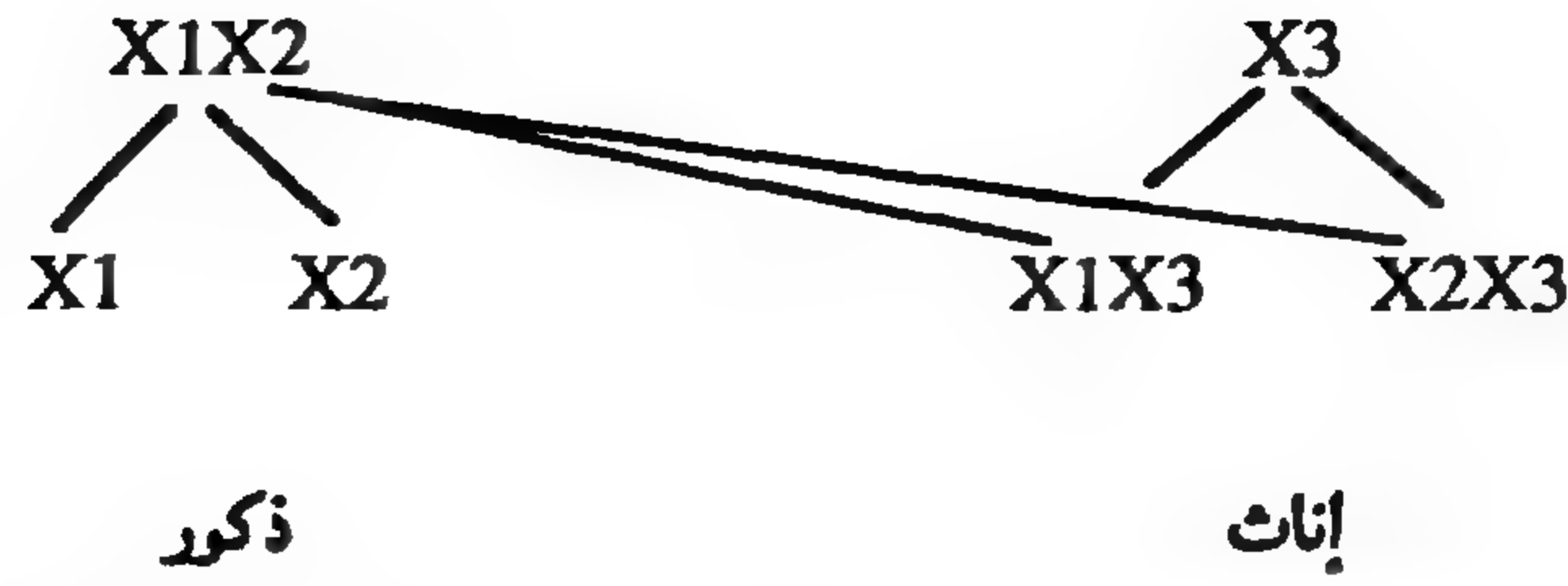


فى نبات الميلاندريوم يكون تركيب الكروموسومات الجنسية للأنثى  $xx$  وللذكور  $xy$  . وفى هذا النبات يتم تحديد الجنس بواسطة الكروموسومات الجنسية والحالة هنا تختلف عن ذبابة الفاكهة حيث يحتوى الكروموسوم  $y$  على محددات الذكر التى لها تأثير كبير حتى أن النبات الرباعى ذو التركيب  $xxxy$  يكون ذكرا ويعنى هذا أن محددات الذكر على الكروموسوم  $y$  تستطيع ان تبطل مفعول جرعة ثلاثية من محددات الانثى . النباتات التى بها  $x$  وبها ايضا اربعة مجاميع من الكروموسومات الجنسية . ( بدلا من المجموعتين العاديتين ) يكون اناثا بالرغم من ان بها  $x$  واحدة تقابل مجموعتين من الكروموسومات الجسمية وتنطبق هذه النسبة على الذكر . وعلى هذا فإن الجنس لا يتحدد بواسطة النسبة بين  $x$  والكروموسومات الجسمية كما هو الحال فى ذبابة الفاكهة ولكن الجنس يحدد بالتفاعل بين  $y, x$  . وفى انثى الاكسولوتل البرمائى يوجد  $xy$  ويتحدد الجنس هنا نتيجة لوجود او عدم وجود الكروموسوم  $y$  .

٣ - تحديد الجنس بواسطة تفاعل سلسلة من الاليلات المتعددة المختلفة والتى تتواجد فى مواقع متقابلة ( تحديد الجنس فى الأفراد الأحادية العدد أو فى الأفراد الناتجة من التوالد البكرى ) .

فى غشائية الأجنحة hymenoptera مثل نحل العسل والنمل نجد أن الإناث تكون ثنائية العدد وناتجة من بيضة ملقحة ، أما الذكور فهى أحادية المجموعة ونتجت من بيضة غير ملقحة عن طريق التوالد البكرى .

وقد وجد فى حشرة الهابروبراكون ( دبور ) ان البيض ينمو أما بالتلقيح أو بدون تلقيح وينمو البيض غير الملقح ويعطى ذكورا أما الملقحة فتعطى اناثا بصورة عامة ولكنها احيانا تعطى ذكورا ولهذا فان الذكور إما ان تكون احادية المجموعة أو ثنائية المجموعة و ذات ابوين ) . ولهذا وتبعاً لهوايت white - فإن الجنس يتحدد بفعل تأثير سلسلة من الاليلات المتعددة المتماثلة والاليلات المتباينة ( غير المتماثلة ) التى تتواجد فى مواقع متناظرة فى الكروموسومات . ولذلك فان أى فرد متباين  $(x_1, x_2 : x_2, x_3 : x_2, x_4)$  وهكذا يكون انثى . ولكن الفرد التماثل  $(1 \times 1, x_1 - x_2, x_2 - x_3, x_3 - x_4, \dots)$  الخ فإنه يكون ذكرا ثنائى المجموعة أما الافراد متباينة المجموعة مثل  $(x_1 : x_2 : x_2, \text{etc})$  فتكون ذكورا ذات مجموعات أحادية واذا تزاوجت انثى  $x_1 \times x_2$  بذكر  $x_2$  فان جميع البيض الملقح يكون متباينا ( غير متماثل )  $x_1 x_2$  (شقيقات) ويحدث كالتالى :



ومن جهة أخرى إذا تزاوجت أنثى  $x_1 x_2$  مع ذكر  $x_1$  فإنه ستنتج أنثى  $x_1$  وذكور  $x_1 x_1$  (متماثلة) بجانب وجود ذكور  $x_2, x_1$ .

أما في حالة تزاوج أنثى بذكر في وصلة فإن النتيجة سوف تكون



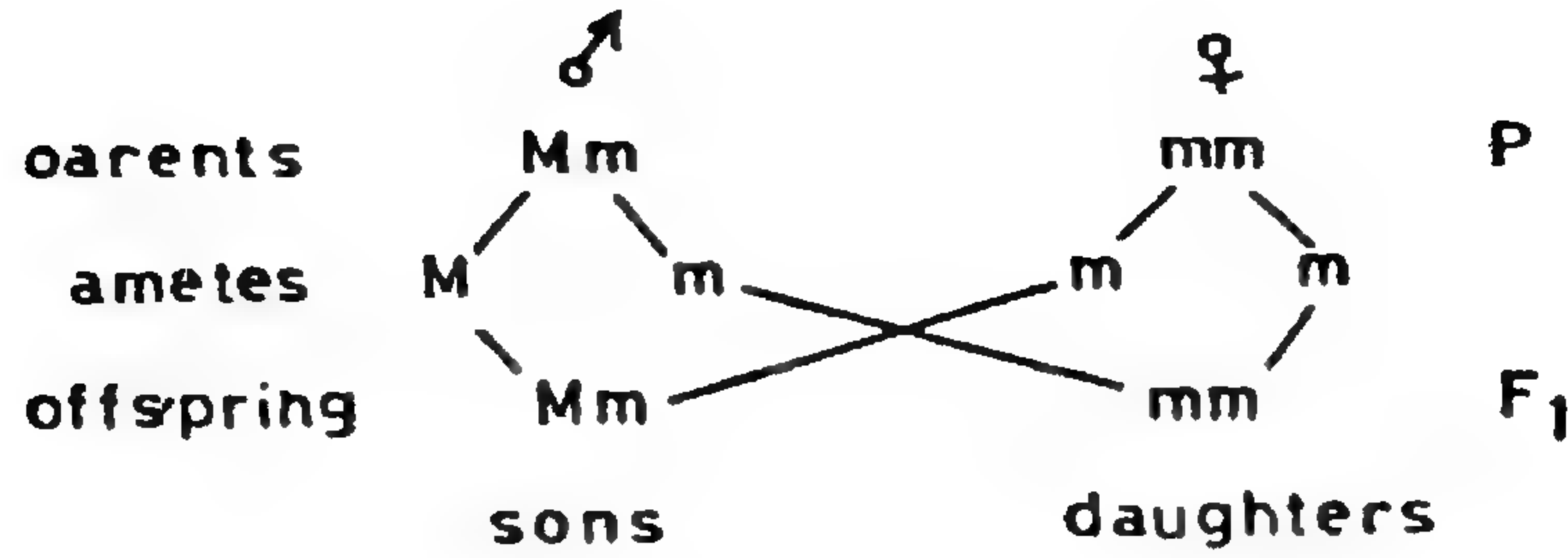
ابناء

#### ٤ - تحديد الجنس عن طريق الفعل المختلف لزوج واحد من الجينات :

Sex determination by the different action of a single pair of genes.

لقد وجد أن كل زوج من الجينات الأليلية يكون مسئولاً عن تحديد الجنس في بعض الأحيان .

وجد في بعض الحالات ، مثل حشرة كيولييكس موليستيس *Culex molestus* أن الجنس يتم تحديده بواسطة زوج من الجينات المتقابلة *allelomorph* حيث تبين من بعض تجارب الارتباط أن الجنس يتم تحديده عن طريق زوج من الجينات ؛ الذكور سائدة على الانوثة . وقد تم تفسير وراثية الجنس على أساس أن الذكر متباين ( مختلف العوامل ) له العاملان *Mm* مثلاً والأنثى متماثلة العوامل *mm* ، وستكون نتيجة التزاوج على الوجه التالي



كذلك وجد أن الجنس يتحد بزواج واحد من الجينات في سمك لبستس *Lebistes* ، وليس من المستبعد وجود حالات مماثلة في البرمائيات وأسماك العظمية حيث يوجد سيطرة جينية على تحديد الجنس ولكن لا توجد كروموسومات جنسية .

#### ٥ - تحديد الجنس تحت تأثير البيئة

Sex determination by the action of the environment

وجد في بعض الحالات ان الكروموسومات ليست العامل الوحيد في تحديد الجنس ولكن البيئة قد تقوم أيضا بهذا الدور ، مثال ذلك إحدى الحليقيات المسماة بونيلافيريلس *Bonilla virilis* ، فيها طول الذكر بضع ميلليمترات وهو تقريبا ١/٥٠٠ من طول الأنثى ، ويعيش الذكر في البداية ملتصقا بخرطوم الأنثى ، وبعد ذلك داخل قناة البيض والأمعاء . اما اليرقات المبكرة جدا فإنها تعيش حرة في الماء وهي ليست ذكورا أو اناثا . فإذا وجدت تلك اليرقات طريقها إلى قناة البيضة أو أمعاء الأنثى فإنها تنمو إلى ذكور ، ولكنها إذا استمرت حرة في معيشتها فإنها تنمو إلى أناث . وقد وجد أن قناة البيض في تلك الأنواع تقوم بإفراز مادة معينة لها القدرة على تحويل الاناث إلى ذكور .

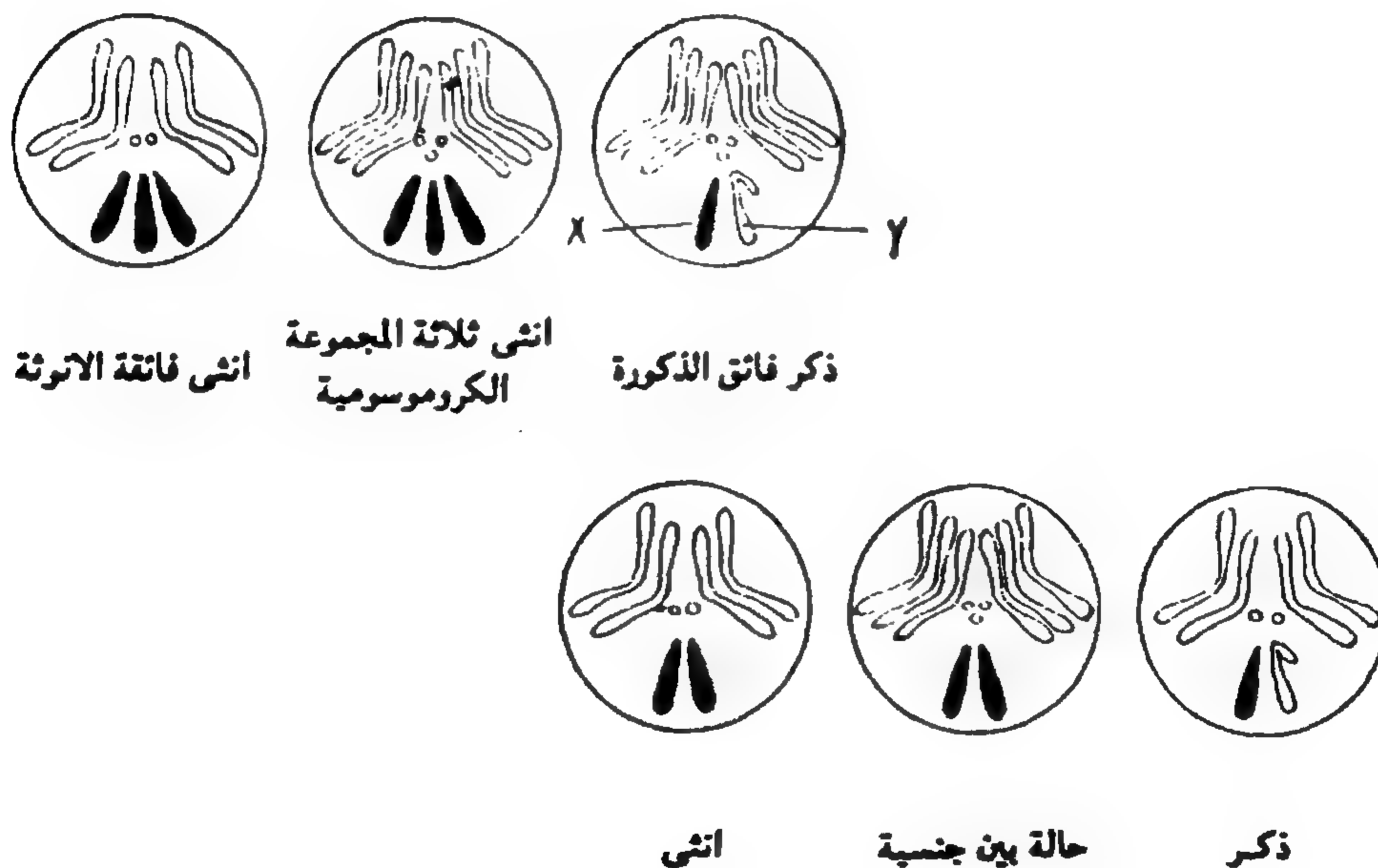
وقد اظهرت التجارب التي اجراها تونسكى Nowinski ١٩٣٤ أن المستخلصات التي يتم الحصول عليها من قناة البيض يمكن عمل على تغيير جنس تلك اليرقات . وقد وجد مؤخرا أن وضع اليرقات في وسط حمضي يعمل على نموها إلى ذكور . ومن ذلك يمكن القول أن تحديد الجنس في هذه الحالة يعتمد على تفاعل كيميائي يؤثر على اليرقات من الخارج ولكنه لا ينتج من اليرقات نفسها . على أن هذه الحالات تعتبر حالات استثنائية ، لأن القاعدة العامة أن تحديد الجنس يتم عن طريق الكروموسومات .



## الخنوثة وانقلاب الجنس HERMAPHRODITISM AND SEX REVERSAL

الفرد الخنثى هو الفرد الذى توجد به الخصية والمبيض معا ، وقد يكون الفرد متزامنا simultaneous ( ظهور الخصية والمبيض معا منذ البداية وذلك مثل دودة الارض وبعض القواقع أو بروتوجيرى protogynous (يكون انثى فى البداية ثم يظهر العضو الذكري فيما بعد ) أو بروتاندرى protandrous (حيث تظهر الخصية فى البداية ثم المبيض ) فيما بعد .

أما لقط الجينندرة gynendromorphism فإنه يشير إلى الخصائص الجنسية الثانوية ؛ ففي الفراش مثلا يكون أحد الجانبيه ذكريا والثانى انثويا ، وليس من المحتم أن يكون الفرد خنثى بصورة حقيقية ، وهذه الكلمة مشتقة من: ( form = ) morphe , man =aner ,woman = gyne أى تركيب ) ويشتمل هذا الفرد على مجموعة من الخصائص الذكورية والأنثوية مع وجود كرموسومات كلا الجنسين فى الأجزاء المختلف من الجسم .



(شكل ١١٨)

أنماط مختلفة من الحالات الكروموسومية فى ذهابة الفاكية

وبالنسبة للأفراد البشرية ، فإن معظم الحالات التى نطلق عليها افراد خنثوية ما هى فى الواقع سوى حالات جينندرة وهى فى الحقيقة اناث لا تملك العامل او العوامل التى تستطيع وقف نمو أو ظهور الخصائص الجنسية الثانوية مثل اللحية .

وانقلاب أو انعكاس الحبس ( من انثى الى ذكر ) امر مألوف فى الطور . وقد وجد فى مثل تلك الحالات أن الأنثى بعد أن تضع العديد من البيض يتوقف البيض عن انتاج البيض ، ويبدأ طيور مجموعات من الخلايا الجنسية تؤدي الى تكوين خصيته ، ويظهر عرف واضح ويبدو الطائر مثل بقية الديكة العادية ويصبح الديكة فعلا ، بل يبدأ فى مقاتلة الديوك بالفعل . وتغير هذه الحالة الخنثوية من النوع البروتوجينى .

### العم الهجين والانقسام الميوزى HYBRID STERILITY AND MEIOSIS

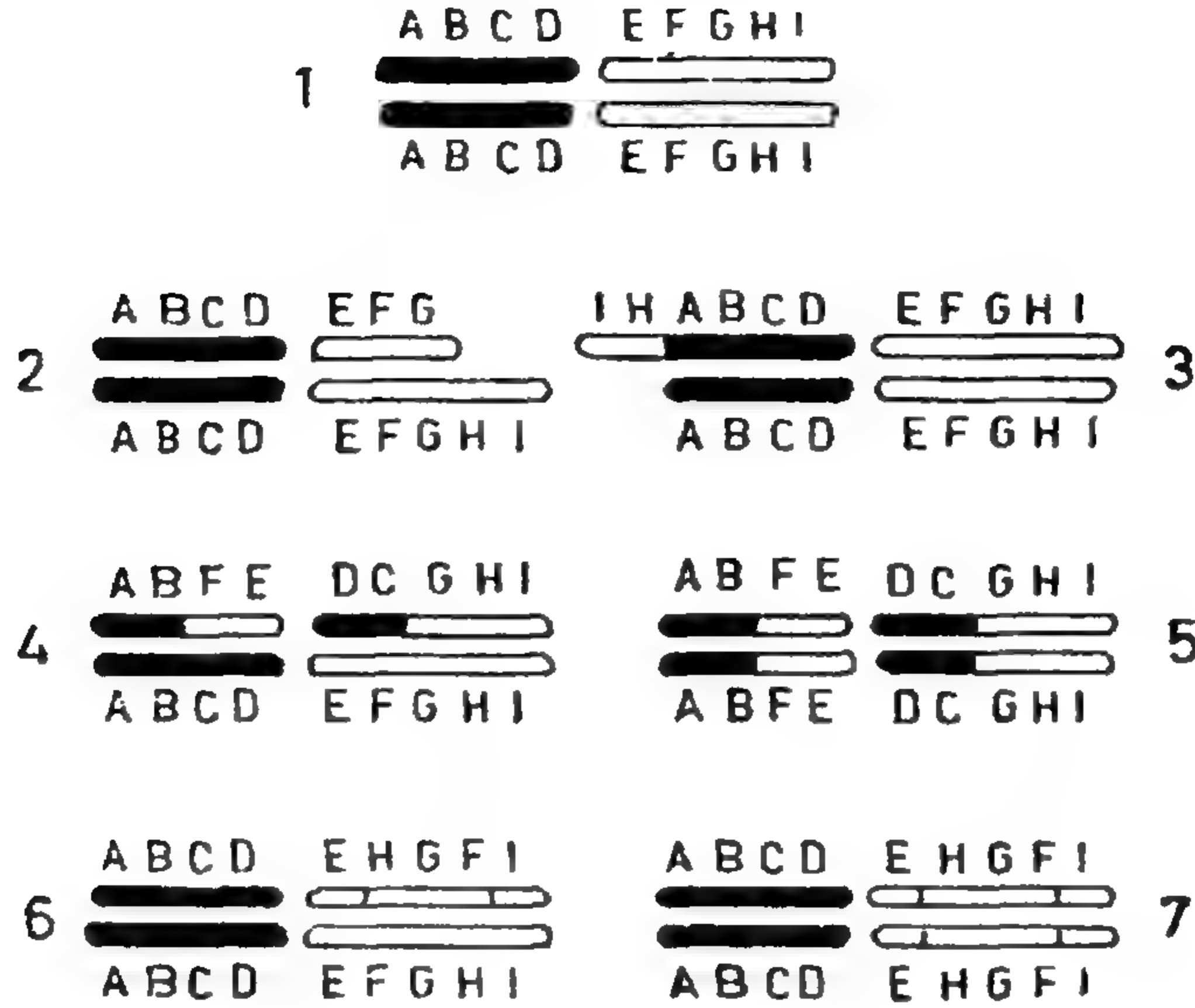
فى علم الحيوان ، يعتبر النموذج الأمثل بالنسبة لحالات العقم الاساسية : البغال mules ، والبغل هجينة ناتج من تزاوج فصيلتين حيوانيتين مختلفتين ، هما انثى الحصان والحمار . وهنا يكون البغل الذكر عقيما تماما ، ولكن البغل الانثى قد تظهر بها بعض علامات الخصوبة . فبويضة الفرس (mare) ، أى انثى الحصان بها العدد الفردى من الكروموسومات وهو ١٩ أما الحمار ، فإن الحيوان المنوى يحمل ٣٢ كروموسوما ، ونتيجة لاندماجهما يتكون الجنين وبه ٥١ كروموسوم . وعندما ينمو البغل ويبدأ تكوين الخلايا التناسلية ، يحدث الانقسام الاختزالى ، واثناء الطور التزاوجى ( تزاوج الكروموسومات المتماثلة ) ، فإن هذه الخطوة لا تتم بطبيعة الحال ، وذلك لأنه لا توجد حقيقة ازواج متماثلة من الكروموسومات ، ومعنى ذلك عدم استكمال عملية الانقسام الميوزى ولا تتكون حيوانات منوية أو بويضات سوية . على أن الملاحظ أن مثل هذه الحالات ( البغال ) تتميز بالقوة غير العادية والفتوة وأقل عرضة للأمراض .

### الكروموسومات والتطور CHROMOSOMES AND EVOLUTION

من المعروف أن المادة الوراثية توجد فى الكروموسومات التى تكون منظمة ومرتبطة بطريق معينة ثابتة . غير أن هذا النمط قد يحدث فيه تغيرات معينة بطريق فجائية ، ويعرف هذا التغير بالطفرة mutation لأسباب غير معروفة ، وقد يحدث صناعيا باستخدام مواد

كيمياوية معينة أو عن طريق التضيق .

ويمكن تلخيص التغيرات الكروموسومية على الوجه الآتى :



(شكل ١١٩)

شكل يوضح بعض أنواع التغيرات الكروموسومية

١ - طفرات جينية ، تحدث فى المادة الوراثية أى الجينات وهى من أهم أنواع الطفرات بالنسبة للتطور .

٢ - تغيرات فى الأعداد الكروموسومية نتيجة للأسباب التالية :

أ - زيادة أو نقص فى أعداد الكروموسومات مؤدية إلى ظهور حالات التعدد والتضاعف الكروموسومى polyploidy أو فردية المجموعات الكروموسومية haploidy .

فمن المعروف أن الخلية الجسدية تحتوى نواتها على مجموعة زوجية من الكروموسومات منتظمة فى أزواج متماثلة . على أنه توجد أنوثة محتوية على مجموعات متعددة من الكروموسومات فى حالات طبيعية ، وهو حالة التعدد الكروموسومى ؛ فإذا وجدت ثلاث مجموعات فردية تسمى ثلاثية المجموعة الكروموسومية triploidy ، أو رباعية tetraploidy ، أو خماسية pentaploidy وهكذا .



ب - زيادة كروموسوم واحد فى المجموعة وتسمى التعدد الكروموسومى polysomy (٤٧ كروموسوم فى الانسان ) .

٣ - تغيرات تركيبية structural alterations نتيجة للعوامل الاتية :  
أ- إعادة ترتيب الكروموسومات داخليا ، وهى الحالات المعروفة باسم الانقلاب inversion .

ب - إعادة ترتيب الكروموسومات فيما بينها ، وهى الانتقال translocation .  
ح - فقدان أو اكتساب قطع أو عقلات كروموسومية أى النقص deficiencies or deletions والمتضاعف duplication .

وعلى وجه العموم ، فإن لفظ طفرة mutation يعنى بصورة عامة أى تغير ثابت فى تركيب الخلايا الجرثومية ولا علاقة له بعملية توزيع العوامل الوراثية كما يحدث فى الحالات المندلية مثلا . وعلى هذا الاساس ، يمكن تقسيم الطفرات الى الأنواع الاتية :

١ - تغيرات جينية gene mutations

٢ - تغيرات كروموسومية عديدة changes in chromosome numbers مؤدية إلى التضاعف الكروموسومى أو المجموعات الأحادية أو المجموعات غير متجانسة المجموعات الكروموتوسومية . heteroploidy

٣ - تغيرات فى ترتيب المادة الكروماتينية

changes in the arrangement of chromatin

( أى القطع الكروموسومية ) نتيجة الانقلاب أو الانتقال أو التضاعف .

على أن استخدام لفظ طفرة إما يشير فى مضمونه بصورة اساسية إلى تغير جينى .

وقد تتسبب الطفرات فى حدوث تغيرات تتراوح فى مداها - تغيرات صغيرة جدا إلى تغيرات بعيدة المدى . ففى ذبابة الفاكهة - على سبيل المثال - قد تعمل إحدى الطفرات على حدوث تغير ضئيل فى لون الجسم ( وهو عادة اللون الأحمر ) ليصبح باهتا بصورة بسيطة ،

أوتفقد كل حبيباتها الصبغية وتصبح بيضاء اللون . ومعنى ذلك أن الطفرات الجينية قد تعمل على ظهور أنواع جديدة من الجينات . وعلى ذلك ، فإن عملية التطور قابلة للحدوث وذلك لأن الجين يمكن أن يتغير ويتكاثر في صوته الجديدة . وقد يحدث أن يتغير الجين الطفرى الجديد ليعود الى حالته العادية الاصلية ، ويطلق عليه في هذه الحالة الطفرة المنعكسة reverse mutation .

وبالنسبة لحالة التضاعف الكروموسومى polyploidy ، المعروف أنها تنشأ نتيجة لعدم مقدرة أو فشل الخلايا في الوصول إلى مرحلة الإنقسام الكامل وتكوين خلايا بنوية مستقلة بعد أن تكون الكروموسومات قد انقسمت وتضاعفت وذلك بالتحديد أثناء تكوين الخلايا الجنسية . على أنه في بعض الحالات قد ينمو الفرد وخلاياه محتوية على مجموعات أحادية haploid sets من الكروموسومات وذلك مثل ذكور النحل .

ويمكن استحداث حالات التضاعف الكروموسومى صناعيا وذلك عن طريق استخدام درجات الحرارة غير العادية أو باستخدام بعض العقاقير مثل الكولشيسين colchicine وقد يؤدي ذلك أحيانا إلى ظهور تغيرات مورفولوجية أو فسيولوجية ، كما حدث في بعض النباتات ذات القيمة التجارية مثل ازدياد معدل فيتامين أ في نبات الذرة ، وفيتامين ج في الطماطم أو تكوين زهور اكبر حجما وبذور اكثر عددا أو ارتفاع معدل الخصوبة وغيرها .

كذلك من المعلوم ان التغيرات التى تحدث في خصائص فرد من الأفراد وتؤدي إلى ظهور نوع جديد إما نشأت أساسا في الكروموسومات . فظهور خاصية جديدة إما ترجع أصلا إلى حدوث تغير في اعداد الكروموسومات أو تركيبها ولكنها غالبا ما تكون نتيجة للطفرات الجينية gene mutations وفي النباتات ، ظهرت انواع جديدة نتيجة لحدوث التضاعف الكروموسومى ، أما بالنسبة للحيوان فإن العوامل الهامة في ذلك المجال هي إعادة ترتيب التراكيب الكروموسومية ، وفي هذه الحالة تكون الطفرات الجينية أكثر هذه العوامل أهمية .

والمعروف أيضا أن الطفرات تؤثر في جين واحد فقط في الوقت الواحد ، وحيث أن الأنواع تختلف عن بعضها بالنسبة للعديد من الجينات ، فإن ذلك يعنى أن الأنواع الجديدة التى تنشأ منا تكون نتيجة لحدوث العديد من الطفرات ، وكل طفرة تؤثر في خاصية أو أكثر .

وحيث أن تأثير الجين يتحدد ليس فقط حسب طبيعة الجين نفسه ، ولكن أيضا حسب انواع الجينات الموجودة فى الأماكن القريبه فى الكروموسومات ، فإن ذلك يعنى أن إعادة ترتيب التراكيب الكروموسومية قد يعمل على تغير وظائف العديد من الجينات .

وعلى ذلك ، فإنه إذا اريد الأبقاء على نوع معين ، فلا بد من عزله جغرافيا أو منعه من التزاوج ، والتكاثر مع ألافراد الأصلية التى نشأ منها أو القربة لها والا نشأت أنواع وسطية تتسبب فى عدم المحافظة على التميز والتخصص النوعى .



## الفصل العشرون

### المحركات الخلوية CELLULAR MOVEMENTS

المعروف أن الطاقة لتى تتولد داخل الخلايا يتم إختزانها على هيئة أدينوزين من ثلاثى الفوسفات ATP وغيره من الفوسفات الغنية بالطاقة . وتستخدم هذه الطاقة فى عمليات التحول الكيميائى ( وذلك مثل تخليق او تكوين البروتينات ) وكذلك فى بعض النشاطات الميكانيكية . ويمكن تضمين العديد من الأنواع فى هذه المجال . وإن كان أهم نوع منها هو الذى يلاحظ فى حركة الخلية cell motion .

فى بعض حالات معينة تحدث حركات خلوية داخل البرتوبلازم ، دون حدوث تغير فى أشكال الخلايا ، وتعرف هذه الحركة بالحركة التموجية streaming أو الدوران الخلوى cyclosis . وفى حالات أخرى تحدث الحركة عن طريق تكوين الاقدام الكاذبة التى تساعد على تغير وضع الخلية ، وتعرف هذه بالحركة الأميبية amoeboid movement . وفى حالات أخرى تحدث الحركة عن طريق الاهداب cilia أو الاسواط flagella ، حيث يطلق عليها الحركة الهدبية ciliary motion أو الحركة السوطية flagellar motion - هذا بالإضافة إلى أن الحركة قد تحدث أيضا فى خيوط سيتوبلازمية معينة ، حيث تعرف بالحركة العضلية muscular motion .

والحركات الأميبية والهدبية والسوطية مألوفة فى الكائنات الأولية . وقد تتحرك الخلايا الجنينية أثناء فترة تميز الأجنة وأنسجتها . كذلك فإنه فى الاستزراع الخلوى فان خلايا التئام الجروح والخلايا السرطانية لها القدرة على الحركة الحرة . غير أنه فى حالة الحيوانات البالغة أو اليافعة ، فإن الخلايا الوحيدة القادرة على الحركة المرئية هى الخلايا الجنسية والطلائع المهدية والخلايا الأميبية المتجولة والخلايا العضلية

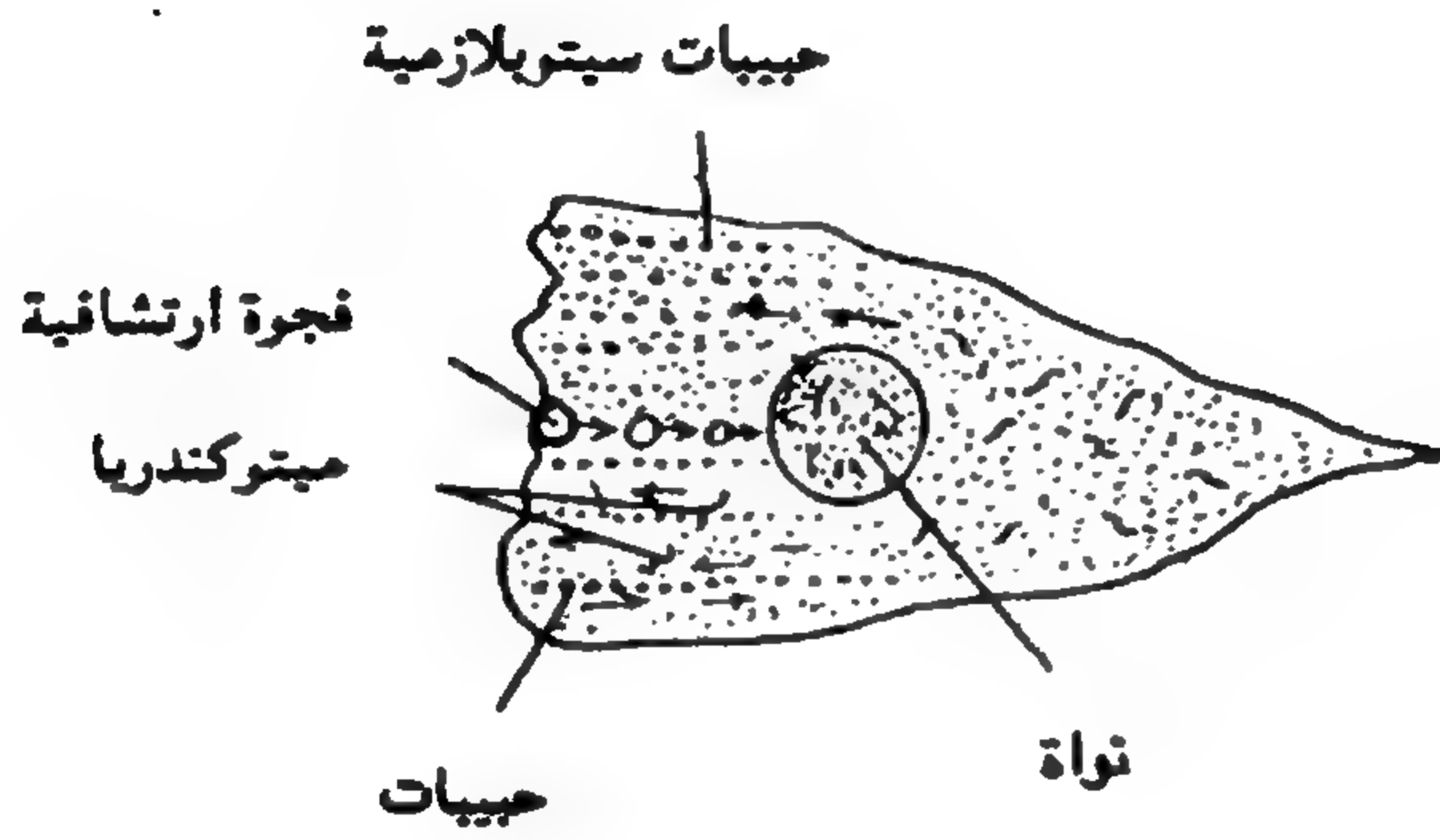
#### ١ - الحركة السيتوبلازمية التموجية أو الدوران الخلوى :

Cytoplasmic streaming or cyclosis

عادة ، يمكن مشاهدة هذا النوع من الحركة فى الخلايا النباتية ، وكذلك فى بعض الأوليات - مثل البراميسيوم - ولكن بصورة أقل وضوحا . وبالمثل يمكن ملاحظة هذه الحركة التموجية فى بعض خلايا الحيوانات المتقدمة ( شكل ١٢٠ )

كذلك ، فان الانقسام الميتوزى بما يشتمله من زحزحة الاجسام المركزية والكروموسومات وبعض العضيات الخلوية الأخرى تدخل ضمن نطاق الحركات الخلوية .

وعادة تتم دراسة ظاهرة الدوران الخلوى هذه فى الخلايا النباتية خاصة خلايا طحالب بنيتلا Nitella الإسطوانية التى تتميز برقة الطبقة السيتوبلازمية فيها محيطة بالتجويف الخلوى الداخلى ، حيث لوحظ أن هذه الحركة تكون واضحة فى الجزء الأكثر سيولة فى الحيز الداخلى من المادة البروتوبلازمية .



(شكل ١٢٠)  
الحركة الخلوية فى خلية ليفية ثديية

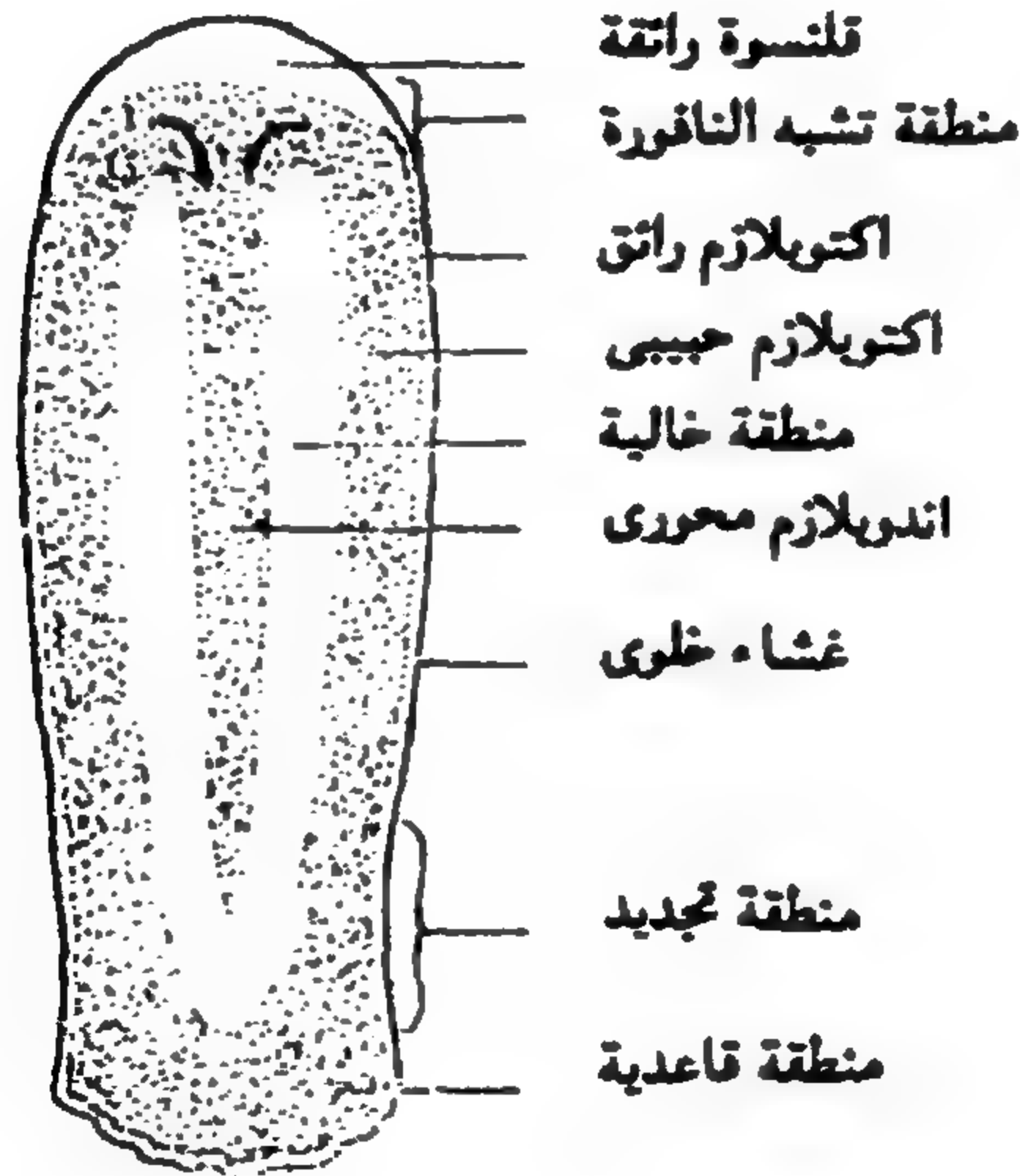
ويمكن حفز هذه الحركة الخلوية فى الخلايا النباتية باستخدام مواد كيميائية معينة أو الضوء المرئى والحرارة وايونات معينة وكذلك عن طريق تغير الأس الهيدروجينى PH .

ومن ناحية أخرى ، يمكن تنشيط هذه الحركة باستخدام محفزات معينة مثل هرمونات النمو النباتية ، وبعد ذلك يمكن إيقافها بإحداث إتلاف ميكانيكى أو الصدمات الكهربائية وبعض عقاقير التخدير ، وكقاعدة عامة ، فإن العوامل التى تعمل على تقليل معدل لزوجة الخلايا ، تعمل فى نفس الوقت على أسراع أو تنشيط معدل هذه الحركة الخلوية والعكس بالعكس .

وتعتبر اللزوجة عامل من العوامل الهامة فى عملية الدوران الخلوية ، وذلك لأن البرتوبلازم - كمادة غروانية - يمكن أن ينتقل من الحالة السائلة الى الحالة شبه الصلبة عن طريق التغيرات الانعكاسية صلب - سائل (sol-gel) .

## ٢ - الحركة الاميبية Amoebiod movement

فى حالة الدوران الخلوى (cyclosis) سابقة الذكر - تتم زحزحة التراكيب البروتوبلازمية دون حدوث تغيرات فى أشكال الخلايا ، أما فى حالة الحركة الأميبية هذه ، فإن الخلايا تنتابها تغيرات بينة ؛ فاشكالها تتغير ، وزوائد أو أقدام كاذبة تمتد منها وفى داخلها تتساب المادة البرتوبلازمية . وقد اطلق على هذه الحركة هذا الاسم ( الحركة الاميبية ) لأنه يمكن مشاهدتها بسهولة فى الاميبا . كذلك تحدث فى خلايا أخرى مثل خلايا الدم البيضاء التى تملك القدرة على تكوين الأقدام الكاذبة بما يمكنها من الحركة . وفى مزارع الأنسجة ممكن أن تقوم الخلايا بتخليص نفسها من بقية الأنسجة الأخرى وتتحرك بنشاط واضح . وهذه الظاهرة تحدث أيضا فى الخلايا الطلائية التى تختفى فيها الوصلات العرضية التى تربط الخلايا ببعضها ، ثم تتحرك بفاعلية مستقلة عن بعضها . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن الخلايا الطلائية تقوم بتجريد نفسها عن بقية الأنسجة فى حالة التئام الجروح وتتحرك بفاعلية فى عمق الجروح .

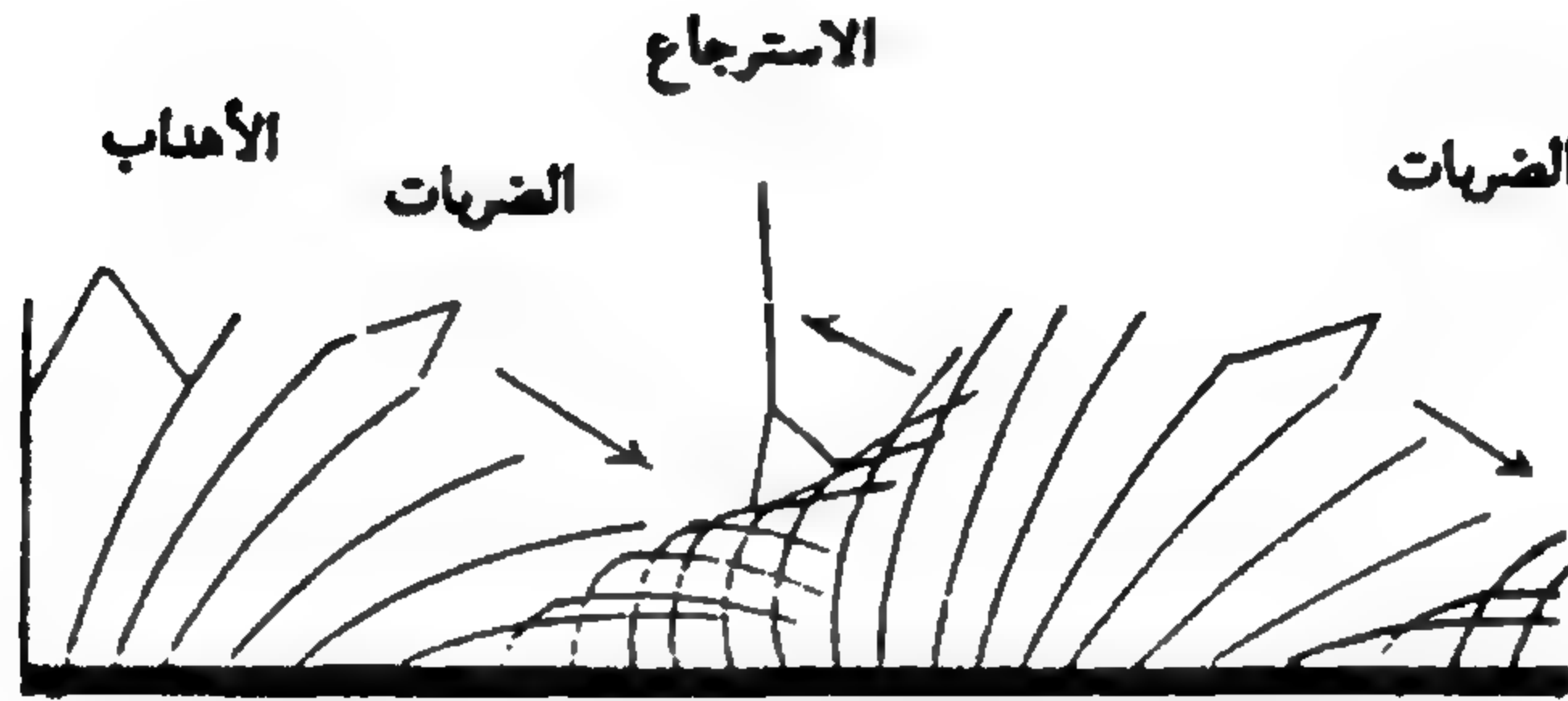


(شكل ١٢١)

تركيب الاميبا ونظامها الحركى



وبصورة عامة ، فإن الحركة الاميبية تحدث أكثر في الخلايا التي تكون مستقرة على ركائز أو أنسجة أخرى صلبة نسبيا . ويلاحظ في هذه الحالة أن بعض الخلايا يحدث فيها الانسياب السيتوبلازمي زائدة أو قدم كاذب واحد ( وحيدة القدم ) monopodial ، وغيرها متعدد هذه الاقدام (polypodial) . وتتخذ هذه الاقدام الكاذبة أشكالا مختلفة ، فقد تكون اسوانية أو محصصية أو جنطية أو متفرعة ، وأحيانا ما تتشابه هذه الخيوط مكونة تركيبا شبكيا كما هو الحال في الفورامينيفورا Foraminifera .



(شكل ١٢٢)  
شكل يبين ميكانيكية ضربات الاهتداب

وتعتبر الاميبا النموذج الأمثل لتوضيح مثل تلك الحركات الخلوية ، حيث يتكون من طبقة اکتوبلازم خارجية راتقة وطبقة اندوبلازمية داخلية هي الأكثر حجما . والمعروف أن مادة الاکتوبلازم هي التي تحيط بالاقدام الكاذبة التي تحتوي داخلها مادة الاندوبلازم . على أن معظم الحركات الخلوية المختلف تحدث بوضوح داخل طبقة الاندوبلازم . وقد لوحظ أن هناك عوامل مختلفة تؤثر على سرعة هذه الحركة ؛ حيث يعمل نقص الاكسجين على إبطاء هذه الحركة ويسبب عدم توفر الكالسيوم على وقف هذه الحركة تماما . وتفسر هذه الحركات الاندوبلازمية حسب طبيعة هذه المادة خاصة ما تحويه من بروتينات . فالمعروف أن هذه المادة تشتمل على شبكة من الجزئيات البروتينية ترتبط ببعضها بروابط عرضية معينة ويعمل أي تغير في مدى قوة الترابط هذه أو درجة انثناءات ، وطول الجزئيات يتسبب في إحداث تغيرات في عمليات التحول ( صلب إلى سائل ) في البروتوبلازم بما يتعكس على معدل نشاطات الحركات الخلوية .

### ٣ - الحركة الهدبية Ciliary motion

يحدث هذا النمط من الحركة بواسطة جسيمات دقيقة ، وهى عبارة عن خيوط سيتوبلازمية منقبضة تختلف فى اعدادها و اخجامها فى الحالات المختلفة ، وكذلك فى مسمياتها تبعاً لذلك . فإذا كانت قليلة وطويلة ، اطلق عليها عندئذ الأسواط Flagella . أما إذا كانت كثيرة ووفيرة ، عرفت عندئذ باسم الأهداب cilia توجد هذه العضيات فى الأوليات وفى بعض أنواع خلايا الحيوانات المتقدمة . وقد تتحد بعض هذه التراكيب مع بعضها مكونة قضباناً أو ذوايات محددة cirri أو مكونة أغشية معينة مثل الغشاء الدوراني undulating membrane .

ونشاهد الأسواط بوضوح فى السوطيات مثل البوجلينا والتريبانوسوما وكذلك فى الخلايا المنوية ، كما تتضح الأهداب فى بعض الخلايا الطلاذية .

### تركيب الأهداب والأسواط Structure of cilia and flagella

يتكون الجهاز الهدبى ciliary apparatus من الأجزاء الآتية :

١ - الهدب cilium من زائدة إسطوانية دقيقة تبرز من الحافة الحرة للخلية .

٢ - الجيبة القاعدية basal granule التى ينشأ منها الهدب .

٣ - القضيبات الهدبية the ciliary rootlets ، وهى ليفات دقيقة تنشأ من الجيبة القاعدية فى بعض الخلايا تكون فيما بينهما جسماً مخروطياً ينتهى قرب نواة الخلية .

### التركيب الدقيق للأهداب والأسواط Ultrastructure of the cilia and flagella

أظهر الميكروسكوب الإلكتروني أن الهدب أو السوط يتكون من أحد عشر خيطاً دقيقاً مزدوجاً ويبلغ قطر الهدب حوالى ٢٠٠٠ أنجستروم ، ويتكون الهدب من غشاء خارجى هو امتداد الغشاء الخلوى ويحيط بمادة الهدب التى يوجد بها تسعة خيوط دقيقة بجانب اثنين آخرين فى مركز هذه المادة .

## ميكانيكية الحركة الهدبية Mechanism of ciliary motion

ترتكز النظرية الحديثة للحركة الهدبية على معرفة التركيب الدقيق للهدب . و ترى نظرية منها ان مادة الهدب مادة يابسة ، وترى نظرية اخرى أن الخيوط الأحد عشر الدقيقة فى مادة الهدب يمكنها ان تنقبض ثم تنتشر هذه التقبضات على طول الهدب حتى نهايته ، ويعمل الخيطان المركزيان على إسراع هذه الحركة . كما ترى نظرية أخرى أن هذه الحركات تنشأ فى الحبيبات القاعدية ويمتد خلال الهدب بأكمله . وقد وصف البعض هذه الحركة على الوجه التالى بصورة عامة:

تنقبض الخيوط ١ ، ٢ ، ٩ ، ٣ ، ٨ دافعة الهدب للحركة للأمام ، وعند العودة للحالة الاصلية ترتخى هذه الخيوط بينما تنقبض الخيوط ٤ ، ٧ ، ٥ ، ٦ محدثة الحركة العكسية . والمعروف ان الأدينوزين ثلاثى الفوسفات (ATP) يلعب دورا هاما فى هذه الحركة .

## ٤ - الحركة العضلية Muscular movement

يعتبر هذا النوع من الحركات الخلوية أكثرها تميزا وتخصصا ، وذلك لأن الخلايا العضلية معدة للقيام بهذه التحركات التى تكون دائما فى اتجاه واحد ، وعلى ذلك فهى فى معظمها تأخذ شكلا مغزليا طوليا . والمعروف أن معظم الحيز السيتوبلازمى فى تلك الخلايا تحتله ليفيات لها قدرة متميزة على التقبض ( الليفيات العضلية ) . myofibrils وقد تم وصف نمط هذه الحركات أو الإلتقباضات فيما قبل فى الجزء المتعلق بالليفيات العضلية .



## الفصل الواحد والعشرون

### النفاذية PERMEABILITY

تعنى النفاذية مرور المواد خلال الأغشية الحيوانية ولهذه العملية أهمية قصوى فى حياة الكائن الحى حيث أن هذه العملية تنظم دخول مواد معينة داخل الخلايا وهى ضرورية لتكوين المواد الحية كما انها تنظم خروج المواد الإخراجية والماء التى يجب أن تتخلص منه الخلايا . وتعتمد النفاذية على عاملين رئيسيين هما :

١ - خصائص الأغشية الخلوية والنوية فيما يتعلق بمرور الجزيئات .

٢ - القوى الدافعة للجزيئات .

وعلاوة على هذا فإن النفاذية تتأثر كثيرا بالعوامل المحيطة مثل درجة الحرارة والضغط الأزموزى للوسط الخلوى .

### الضغط الأزموزى والنفاذية Osmotic pressure and permeability

الضغط الأزموزى ضرورى لحياة الكائن الحى ويلعب دورا أساسيا فى تكوين سوائل جسمية معينة مثل الليمف والسائل بين الخلوى .

ويوضح الضغط الأزموزى جيدا فى الخلايا النباتية ، فعندما توضع هذه الخلايا فى محلول له نفس الضغط الأزموزى للمحلول الداخلى فى الخلايا فإن السيتوبلازم يبقى ملاصقا لجدار الخلية . وإذا كان محلول الوسط أكثر تركيزا عن السائل الخلوى فإن الخلايا تفقد ماء وينسحب السيتوبلازم من الجدار السيلوزى الجامد . وعلى العكس ، اذا كان المحلول فى الوسط المحيط اقل تركيزا فإن الخلايا تنتفخ إلى درجة الإلتفجار .

وفى الخلايا الحيوانية يسمح غشاء اخلية بنفاذ الماء وبعض المحاليل الذائبة المعينة . ويتم الابقاء على الضغط الأزموزى بواسطة عملية معينة تعمل على تنظيم تركيز المواد المذابة داخل الخلية . على أن مرور المواد المختلفة خلال الأغشية الحيوانية لا يحدث بنفس السهولة .

كما أن الغشاء الخلوي يحافظ على التوازن بين الضغط الأزموزي داخل الخلية والسائل بين الخلوي . وقد تكون المحاليل متوازنة الأساس أو عالية الأساس أو منخفضة الأساس بالنسبة للسائل بين الخلوي .

١ - المحاليل متوازنة الأساس Isotonic solutions : التي يتساوى فيها الضغط الأزموزي الخارجى مع الضغط الأسموزي داخل الخلية : فمثلا ٩٥٪ محلول كلوريد الصوديوم محلول متعادل الأساس بالنسبة للحيوانات الثديية .

٢ - المحاليل منخفضة التركيز Hypotonic solutions التي ينخفض فيها الضغط الأزموزي خارج الخلية عنه داخل الخلية : فمثلا ٦٦٪ محلول كلوريد الصوديوم يكون منخفض الأساس فى الحيوانات الثديية ولكنه متعادل الأساس بالنسبة لخلايا البرمائيات .

٣ - محاليل عالية الأساس : Hypertonic solutions ويكون بها الضغط الأزموزي الخارجى أكثر ارتفاعا عنه فى الخلايا .

### تنظيم الضغط الأزموزي Regulation of osmotic pressure

تنظيم الضغط الأزموزي ضرورى للعمليات الحيوية المختلفة : ففى الثدييات العليا يلاحظ أن الكلى هى الأعضاء الرئيسية لتنظيم الضغط الأزموزي . ففى هذه الأعضاء يتسبب الضغط السائل للدم فى مرور الماء للخارج من الجلوموريلس ( الكبة ) glomerulus على هيئة بول . فيلاحظ فى كثير من الحيوانات الأولية أن الفجوة المنقبضة تعمل على الحفاظ على توازن الضغط الأزموزي . وهذا العضو أو العضى هو المنظم للضغط الأزموزي وهو الذى يستخلص الماء الزائد من البروتوبلازم ويفرعه الى الوسط المحيط به وهذا هو السبب فى وجود مثل هذه الفجوات فى الأميبا التى تعيش فى المياه العذبة . بينما لا توجد فى نظراتها التيتعيش فى المياه المالحة . ففى الحالة الأولى تكون الأميبا محاطة بمحلول تركيزه أقل بكثير من تركيز الخلية ولهذا فإن الماء ينتشر بالاستمرار داخل هذه الخلية الحيوانية ، وفى الحالة الأخرى فإن الأميبا التى تعيش فى الماء المالح تحاط بمحلول تقريبا متوازن التركيز مع السائل الداخلى . وإذا انتشرت كمية قليلة من الماء للداخل فإن الحيوان يتخلص منها بواسطة الانتشار البسيط خلال الغشاء الخلوي .

وقد اثبتت التجارب على كرات الدم الحمراء ان هذه الخلايا تنتمى إلى مجموعة الأشياء التى تعرف بأنها المقياس الأزموزى ، وهى الأشياء التى لها القدرة فى أن تغير من أحجامها فى الأوساط المختلفة الأساس بواسطة تبادل الماء فقط .

#### طرق تعيين نفاذية الخلية Methods of determination of cell permeability

١ - البلزمة plasmolysis : تعتمد هذه الطريقة على مشاهدة ظاهرة البلزمة ( تغير شكل البروتوبلازم ) تحت المجهر من الخلايا الحيوانية التى تستخدم كمادة جيدة لدراسة النفاذية وخاصة نفاذية الماء وهى بيض بعض الحيوانات البحرية مثل الكيروبيتروس chropterus وهذا البيض كروى الشكل ذو حجم ثابت فى الظروف العادية ولكنه يتنفخ فى المحاليل منخفضة التركيز وتنكمش فى المحاليل المرتفعة التركيز وذلك بدون أن تفقد هذه الخلايا شكلها الكروى . ويمكن تعيين الانتفاخ أو الانكماش بقياس قطر البيضة ثم حساب الحجم .

٢ - بلزمة الدم Haemolysis : بهذه الطريق تحسب النفاذية بواسطة قياس البلزمة فى كرات الدم الحمراء عن طريق الكثافات الضوئية المختلفة التى تحدث عن طريق تغيير حدة لون المحلول الذى توجد به كرات الدم الحمراء . وهذا القياس ( مرتبط بعامل الوقت ) ويعطى فكرة دقيقة عن النفاذية لهذه المادة .

٣ - النظائر المشعة النشطة Radioactive isotopes : فى حالة نفاذية الالكترونيئات يستحسن أن تدرس عن طريق استخدام النظائر المشعة النشطة . فى هذه الحالة فإن العناصر الأثرية trace elements تستخدم بدلا من المركبات العادية ثم تقاس نفاذيتها عن طريق عداد جيجر Geiger counter وهذه طريقة هامة فى تعيين كمية المادة التى تنفذ داخل الخلية خلال فترة محددة من الزمن .

#### ٤ - الانتشار والانتقال النشط Diffusion and active transport :

تسمح الثقوب الدقيقة التى توجد فى الغشاء البلازمى فى انتشار الجزيئات التى لا يتجاوز قطرها  $10^{-7}$  . ومن خلال هذه الثقوب تمر بسهولة نسبة المواد التى لا تذوب فى الدهون وذات الاحجام الصغيرة مثل الماء من داخل الخلية N إلى خارجها . وتنتقل المواد خلال الغشاء



البلازما بواسطة عمليتين رئيسيتين :

١ - الانتشار diffusion ٢ - الانتقال المسهل Active transport

١ - الانتشار :

وهذا يعنى حركة المواد بطريقة عشوائية بسبب الحركة العادية للمادة حيث تنتشر المادة المذابة من حجرة إلى أخرى عندما يكون التركيز أكثر ارتفاعاً في الحجرة الأولى عنه في الثانية .

$$\text{معدل الانتشار} = \frac{\text{معامل التركيز} \times \text{القطاع العرضي} \times \text{درجة الحرارة}}{\text{الوزن الجزيئي} \times \text{المسافة}}$$

وقد ذكرنا سابقاً أن الغشاء الخلوي ما هو إلا صحيفة من الدهون تغطي سطحها طبقة من البروتين . وهذا الغشاء الدهني البروتيني يعمل كحاجز فاصل بين داخل الخلية وخارجها . فإذا لم تكن المادة قابلة للذوبان في الدهون فإنها لا تستطيع أن تمر خلال الغشاء .

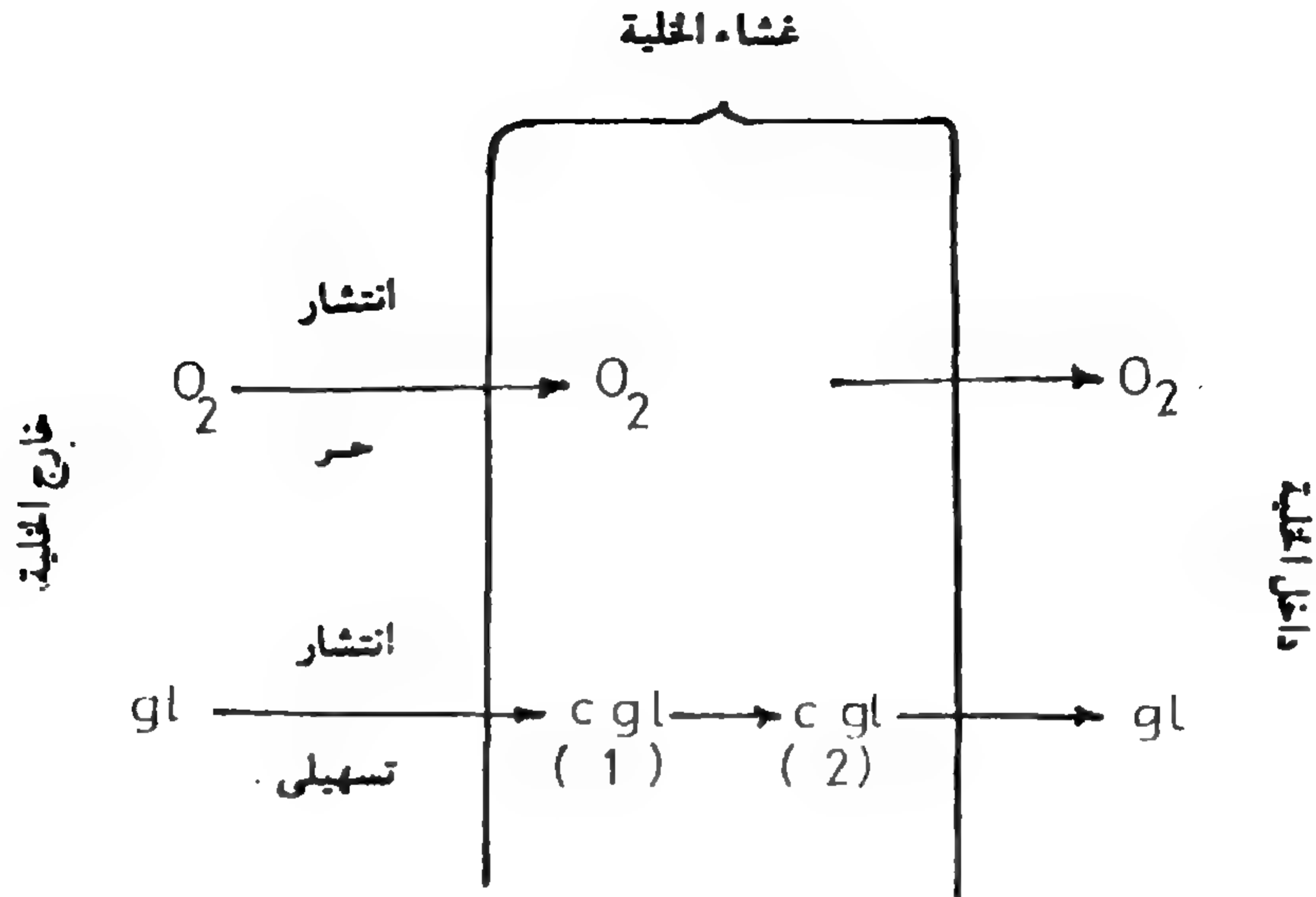
والمواد التي تذوب في دهون الغشاء الخلوي أيضاً في الماء هي قليلة . وهذه تشمل الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون والحمول ومواد أخرى ذات أهمية قليلة . وعندما تأتي مادة من هذه المواد وتلتصق بالغشاء فإنها تذوب في الحال في الدهن وتنتشر بسهولة علاوة على انتشارها في الوسط المائي على جانبي غشاء الخلية . ولذلك فإن الحركة العشوائية للجزيئات قد تدخلها خلال الغشاء أو قد تأخذها مرة ثانية خارج الخلية من حيث أتت . أما إذا ذابت المادة بصعوبة ولا تذوب كلية في الدهون فإن انتشارها سيتعطل تماماً مثل الماء الذي هو عديم الذوبان في الدهون ولذا فإنه لا يمر كلية خلال المواد الدهنية ولكن هذا الماء يمر خلال الثقوب الدقيقة ( ٨ ) وينتطبق هذا تماماً على الأيونات والجزيئات التي تذوب في الماء بشرط أن يكون حجم هذه الجسيمات أصغر من حجم الثقب . والجدول التالي يبين علاقة قطر المواد المختلفة بالنسبة لقطر الثقب .

المادة	القطر	النسبة الى قطر التغير
جزئ الماء	٣	٣٨ر
جزئ اليوريا	٣٦ر	٤٥ر
الكالسيوم	٣٨٦ر	٤٨ر
البوتاسيوم	٣٩٦ر	٤٩ر
الصوديوم	٥١٢ر	٦٤ر
جزئ الجلوسرين	٦٢ر	٧٧ر
جزئ الجلوكوز	٨٦ر	١٠٤٠ر
جزئ السكروز	١٠٤ر	١٣٠ر
جزئ اللاكتوز	١٠٨ر	١٣٥ر

ولا تزال هناك بعض المواد التي لا تذوب في الدهون وذات حجم أكبر من حجم الثقب مثل الجلوكوز الذي يستطيع أن يعبر الغشاء عن طريق ما يسمى بالانتشار المسهل أو التسهيل *facilitated diffusion* وطريقة الانتشار التي تتم في مثل هذا النوع من الانتشار تحدث كما يلي :

١ - يتحد الجلوكوز بمادة C ، عند النقطة (١) ويكون المركب cgl وهذا المركب قابل للذوبان في الدهون بحيث يستطيع أن ينتشر إلى الجانب الآخر للغشاء في الاصل .

٢ - عند النقطة (٢) على الجانب الآخر في الغشاء ينفصل الجلوكوز بعيدا عن الحامل بينما ينتشر الحامل عائدا إلى السطح الخارجى ليلتقط جلوكوزا آخر وينقله الى الداخل . ولهذا فإن تأثير الحامل هو أنه يعمل على ذوبان الجلوكوز في الغشاء لأنه بدون الحامل لا يستطيع أن يمر خلال الغشاء . ومن المحتمل أن تتواجد أنزيمات معينة تعمل كعامل مساعد لهذه التفاعلات الكيميائية وفي بعض الأمثلة تتم العملية بدون متطلبات من طاقة إضافية .



الجلوكوز  $gl$  = حامل المادة  $C$  =

(شكل ١٢٣)

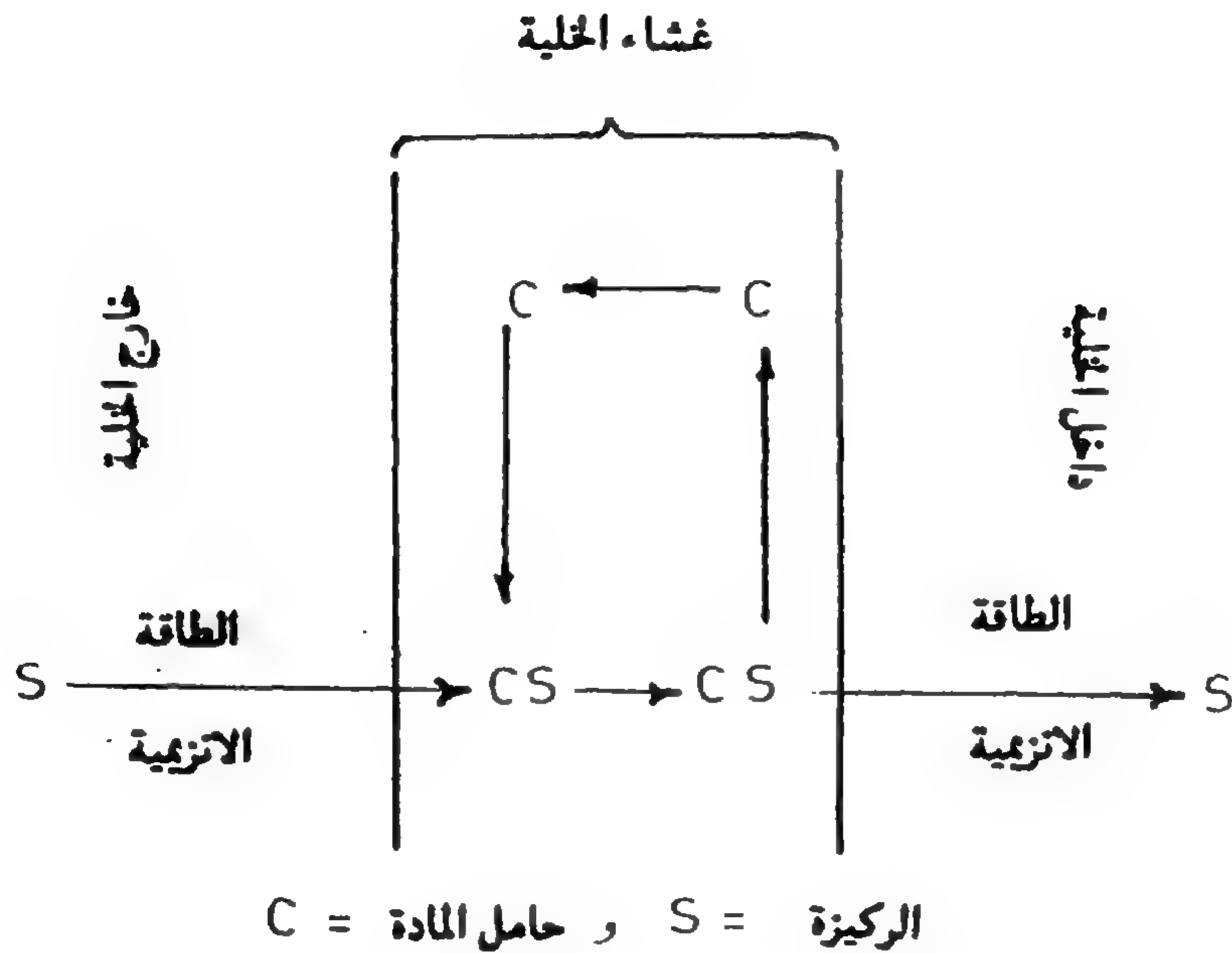
شكل يوضح عملية الانتشار

## ٢ - الانتقال النشط Active :

من الواضح أن كل المواد تنتشر من التراكيز العالية الى التراكيز المنخفضة ، ولا توجد مادة تستطيع أن تنتشر ضد التركيز المنخفض إلى التركيز الأعلى والتي يطلق عليها " صعود التل " . وعملية تحريك الجزيئات إلى صعود ضد التركيز العالي يطلق عليها " الانتقال النشط " . ومن بين المواد التي تنتقل بواسطة الانتقال النشط هذا خلال الغشاء الخلوي في بعض اجزاء الجسم واليوريا وبعض السكريات والاحماض الامينية . وعملية الانتقال النشط متشابهة بالنسبة لكل المراد وهي تعتمد على الانتقال عن طريق المواد الحاملة .



- ١- المادة (S) تتحد مع الحامل (C) عندما تدخل الغشاء .
- ٢ - على السطح الداخلي للغشاء تنفصل المادة (S) من الحامل وتنطلق الى داخل الخلية .
- ٣ - يتحرك الحامل (C) عائدا الى السطح الخارجى ليلتقط كمية أكثر من المادة (S)



( شكل ١٢٤ )  
شكل يوضح الانتقال النشط

ويتضح أن هناك تشابها بين هذه العملية والانتشار المسهل ولكن الفارق هو أن الطاقة توزع خلال ATP لهذا النظام خلال عملية الانتقال النشط . ويعتقد أن الحامل ما هو إلا فوسفوليبيدات أو بروتين . وتوجد أجهزة متعددة من الحوامل في كل الأغشية ويختص كل منها في نقل مواد معينة ؛ فمثلا جهاز حامل ينقل  $Na^{+}$  إلى خارج غشاء الخلية ويحتمل أن

ينقل  $K^+$  لداخل الخلية في نفس الوقت . ويبدو الجهاز الحامل  $Na^+-K^+$  مرتبط بالتحلل المائي لمركب ATP . ويوجد أنزيم ATPase مرتبط بغشاء الخلية . ومن المتفق عليه الآن أن  $(Na^+-K^+ATPase)$  مرتبط بالنقل النشط لكل من الصوديوم ( $Na^+$ ) والبوتاسيوم ( $K^+$ ) .

قانون قانت هوف ماريوت Vant Hoff - Mariotte Law :

ترتبط هذه الطريقة بنفاذية الماء بصورة خاصة . وحسب هذا القانون ، فإن حجم أى جسم - يمكن ان يطلق عليه " مقياس اوزموزى " يتناسب عكسيا مع قوة تركيز الوسط المحيط . وعلى هذا الاساس ، اذا ازداد حجم الجسم انخفضت قوة تركيز الوسط المحيط وهكذا .

ولتوضيح ذلك القانون ، يفترض أن خلية الدم الحمراء يمكن تمثيلها على أنها نموذج معين فيه غشاء سطحى غير صلب أو جامد يحيط بكمية معينة من الهيموجلوبين والأملاح الذائبة ؛ هذا الغشاء منفذ للماء والانيونات ولكن ليس الكتيونات . ومثل هذا النموذج ينتفخ او ينكمش نتيجة لانتقال الماء فقط عند وضعه فى محلول أقل أو أكثر تركيزا من المحلول الموجود بداخله . وعلى ذلك فانه يمثل مقياسا اوزموزيا نموذجيا حسب قانون قانت هوف ماريوت .

فاذا كانت (V) تمثل حجم الخلية ، (T) قوة تركيز الوسط المحيط ، (W) الجزء من حجم الخلية الذى يحتله الماء ، فإن القانون المذكور يمكن تمثيله على الوجه التالى :

$$V = W (1/T-I) + 1$$

وكما سبق ذكره ، فإن المحلول مساوى التركيز أو الضغط الأوزموزى وهو الذى يساوى تركيز الخلية الموجودة فى ذلك الوسط . وعلى ذلك فإن مثل تلك الخلية لا تنتفخ ولا تنكمش فى مثل ذلك الوسط . وتعتبر مادة البازما فى الحيوان محولا مساوى الضغط الازموزى بصورة نموذجية لقوة تركيز فيها ( $T = 1.0$ ) ونفس هذه القيمة (1.0) هى الخاصة بالالكتروليتات والسكريات وغيرها التى تظل فيها الخلايا الحمراء بدون تغير فى شكلها او حجمها .

وعند انخفاض تركيز المحلول يزداد حجم الخلية حتى تصل الى الحجم الحرج ( $V_n$ ) مع تركيز حرج جديد ( $T_n$ ) . وأى ازدياد فى الحجم بعد ذلك ينتج عنه تحلل الهيموجلوبين . وفى

هذه الحالة تكون (A) ممثلة مساحة سطح الخلية التي تكون كروية في تلك الحالة وعلى هذا تكون :

$$T_n = \frac{W}{(V_n N_o - I) + W}$$

والحجم الحرج لخلية الدم الحمراء في الانسان هو (1.6 Vo.) . ويتضح من هذا القانون أن خلايا الدم الحمراء تعتبر مقياسا أوزوموزيا نموذجيا . وهذا واضح مما يلي :

١ - يوجد حجم حرج معين لحجم الخلية الحمراء يتوقف على قوة تركيز المحلول في الوسط المحيط وبالطبع على كمية الماء التي تخترق غشاء الخلية . وأى ازدياد في هذا الحجم الحرج يؤدي إلى تحلل الخلايا وتهدمها .

٢ - خلايا الدم الحمراء لا تتحلل بنفس الطريقة في التركيز الواحد . ويرجع السبب في ذلك اختلاف كميات الماء فيها وأشكالها وأحجامها الأصلية .

٣ - في المحاليل مرتفعة التركيز ، يوجد حد أعلى لانكماش الخلايا نتيجة لفقدان الماء منها . وقد وجد بصورة عامة أنه عند وضع تلك الخلايا في محلول مرتفع التركيز لدرجة ٢٠٪ ملح الطعام ، فإن نصف كمية الماء الموجودة بها هي التي تفقد فقط في تلك الحالة . ولا تخضع كمية الماء المتبقية لعوامل الضغط الازموزي عندئذ . ويتسبب فقدان ذلك الماء من خلايا الدم الحمراء إلى ارتفاع معدل تركيب الهيموجلوبين فيها إلى حوالي ٦٠٪ ، وعلى ذلك فإن هذا الهيموجلوبين يتبلور ولا سبيل عندئذ لخروج الماء من تلك البلورات .

وقد وجد بصفة عامتان نفاذية الماء تتراوح بين ١ - ٣ ويتم تقديرها باحتساب عدد الميكرونات المكعبة من الماء التي تمر خلال ميكرون ، مربع من سطح الخلية خلال دقيقة واحدة عند درجة حرارة ٢٠ درجة مئوية .

**نفاذية الايونات ( قانون دونان للتوازن )**

Permeability to ions ( Donnans Law of Equilibrium)

المعروف ان جزيئات المواد غير الالكتروليتية ( التي لا تتحلل في الماء الى ايونات



مشحونة ) تخترق غشاء الخلية بكفاءة اكثر عن الجيبيات المشحونة والايونات ( . وتلعب الأيونات دورا أساسيا في الحفاظ على النشاطات البيولوجية ولدخلولها او خروجها من الخلايا أهمية بالغة وذلك بالنسبة للشحنات الكهربائية التي تقوم بحملها . ويمكن جعل هذا النوع من النفاذية عن طريق " قانون دونان للتوازن " ( العلاقة التي توجد بين اثنين من محاليل الالكتروليتات يفصل بينها غشاء لا يسمح بمرور أحد الايونات ) وذلك على الصورة الآتية :

فإذا تم وضع محلول من كلوريد الصوديوم ( $\text{Na}^+\text{Cl}^-$ ) على أحد جانبي غشاء شبه منفذ ، ووضع على الجانب الآخر محلول كلوريد البوتاسيوم ( $\text{K}^+\text{Cl}^-$ ) فإن الأيونات تستمر في المرور في الاتجاهين حتى يتم التوصل إلى حالة من التوازن على جانبي هذا الغشاء .

ولكن اذا وضع على أحد جانبي مثل هذا الغشاء محلول كلوريد الصوديوم وعلى الجانب الآخر محلول غير قابل للنفاذ مثل أحمر كونغو Congo red وهو يتكون من الصوديوم ومادة أخرى يشار لها بالحرف R ، فإن مرور المواد في تلك الحالة يمكن تمثيله على الوجه التالي اخذا في الاعتبار ان الحرفين a,b يشيران إلى أعداد الايونات على جانبي هذا الغشاء .

I	II
a. $\text{Na}^+$	b. $\text{Na}^+$
a. $\text{Cl}^-$	b. $\text{R}^-$

ويلاحظ ان ايونات الصوديوم ( $\text{Na}^+$ ) والكلوريد ( $\text{Cl}^-$ ) تمر خلال هذا الغشاء في الاتجاه I ---- II وكذلك الاتجاه المضاد حتى يتم التوصل إلى نوع من التوازن أو التعادل عندما تكون سرعة الانتشار متماثلة على كلا الجانبية . فإذا اشير إلى عدد الايونات التي تنتقل خلال الغشاء من الحجرة I بالرمز x فإنه عند التوصل إلى حالة التوازن سيكون في الحجرة II نفس عدد الايونات الاصلى b بالضافة إلى عدد x الذي يمثل الايونات القادمة من الجانب I ، أى سيكون ( $b+x$ ) ومن الناحية الأخرى ، فإنه سيكون في الحجرة I سيكون هناك عدد ينقص بمقدار x كما هو موضح فيما يلي :

I	II
a — X. $\text{Na}^+$	b + x. $\text{Na}^+$
a — X. $\text{Cl}^-$	b. $\text{R}^-$
	x. $\text{Cl}^-$

ولما كانت سرعة الإنتشار من الجانب I الى الجانب II موازيا لتركيز أيونات الصوديوم (Na+) والكلوريد (Cl-) في الجانب I ، فإن هذا يمكن أن يعبر عنه بأنه  $(a-x)^2$  . وفي نفس الوقت فإن سرعة الانتشار في الجانب المضاد ، أي من الجانب II الى الجانب I سيكون موازيا لمحصّل ضرب تركيز الصوديوم (Na+) والكلوريد (Cl-) في الجانب II ويكون  $(b+x)x$  . ويتم التوصل إلى التوازن الأيوني عندما تكون سرعة الإنتشار متساوية في كلا الاتجاهين حسب ما هو موضح فيما يلي :

$$\begin{array}{ccc} & I & II \\ & \cdot & \\ (a - x)^2 & == & (b + x) \cdot x \end{array}$$

ومن هذه المعادلة التي يطلق عليها " معادلة دونان الأساسية "

Donnan's fundamental equation

- تركيز أيونات كل من الصوديوم (Na+) والكلوريد (Cl-) متساو في الحجر أو الجانب I .

- عدد أيونات الصوديوم (Na+) أكثر إرتفاعا في الجانب II عنه في الحجرة I .

- تركيز أيونات الكلوريد (Cl-) أكثر إرتفاعا في الحجرة I عنه في الحجرة II .

- تركيز أيونات الصوديوم (Na+) في الحجرة II أكثر إرتفاعا عن تركيز الكلوريد (Cl-) .

**اهمية توازن دونان في النشاطات الخلوية :**

Significance of Donnan's equilibrium in cellular activities :

يلعب قانون دونان للتوازن دورا هاما في تفسيدانتشار المواد القابلة للنفاذ خلال الأغشية الحيوانية والمواد غير القابلة للنفاذ في تلك الحالات وكيفية التوصل إلى التوازن عندئذ . تمثل البروتينات مثل هذه المواد غير النفاذة . وعلى أساس هذا القانون فإن الاختلاف بين كمية البيكربونات والكلوريد في كل من خلايا الدم الحمراء ومصل الدم ( مع اعتبار

الهيموجلوبين ممثلا للأيونات غير النفاذة ( قد أمكن تفسيره . والمعروف أن الهيموجلوبين يوجد بمعدلات مرتفعة فى خلايا الدم الحمراء .

وبجانب ذلك ، فإن الأيونات المعدنية ( الأيونية والكاتيونية ) تدخل الخلايا وتخرج منها . ومن المحتمل أن تبادلها يتم بمعدل نشط فى الخلايا والانسجة أثناء مراحل النمو وذلك لأن تركيد الأملاح يظل ثابتا بينما تكون كتلة البروتوبلازم فى حالة إزدیاد . وهى كذلك مرتفعة ايضا فى الخلايا الاقرازية التى يمكن إحلالها بأملاح مثيلة من الدم عن طريق إنتشارها خلال الأغشية الدموية . وبالمثل فإن تبادلا نشطا يحدث فى تلك المواد فى الأنسجة العضلية والعصبية أثناء نشاطاتها الفسيولوجية .

كذلك اوضح قانون دونان أن احتراق الأيونات المعدنية مختلف عن بعضها ( ويعنى الاختراق penetrability السرعة النسبية التى تغير بها مادة معينة الغشاء البلازمى تحت الظروف القياسية ) وظاهرة الإختراق هذه خاصية مميزة لمثل تلك المواد ، بينما تعتبر النفاذية permeability خاصية مميزة للغشاء الخلوى . والمعروف أن الأنيونات anions لها معدل اختراق اسرع من الكاتيونات Cations  $(Cl^- > Na^+)$  ، ويمكن تمثيل معدل اختراق الأنيونات على الوجه التالى :

النترات أكثر من الكلوريد أكثر من الخلات أكثر من الاكسالات أكثر من الكبريتات  
Nitrate > Chloride > Acetate > Oxalate > Sulphate

ويكون فى حالة الكاتيونات :

Potassium > Sodium > Lithium > Magnesium > Calcium .

وفى حالة السكريات ، فإن عددا كبيرا من جزيئات الجلوكوز تنتشر داخل الخلايا للحفاظ على التوازن ، غير أنه بالنسبة للسكريات الأخرى ( مثل السكروز ) فإن مركبات أقل منها قد تعمل على الحفاظ على هذا التوازن . ويرجع السبب فى ذلك الى أن الجلوكوز مطلوب بشدة بواسطة الخلايا ويتم استخدامه بصفة مستمرة فى النشاطات الحيوية على حين أن السكروز يبطئ فى عملياته الحيوية .

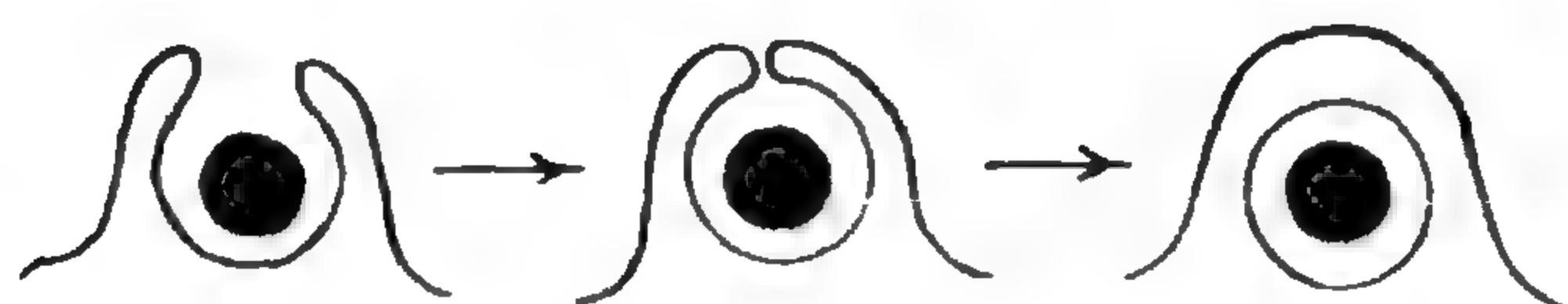


## اختراق المواد الصلبة والسائلة : Penetration of solids and salts

من النواحي المرتبطة بـ نشاط الغشاء الخلوي عمليتا البلعمة والابتلاع phagocytosis والارتشاف pinocytosis . وعن طريق هاتين العمليتين تمر المواد الصلبة والسائلة داخل الخلية . ولما كانت العمليتان متشابهتين فإنه يطلق عليهما معا الانتقال الداخلي endocytosis وعكس ذلك عملية الطرد الخارجي exocytosis التي يتم عن طريقها طرد المواد خارج الخلية .

## الابتلاع أو البلعمة phagocytosis :

تشير هذه الظاهرة إلى ابتلاع الخلية لحبيبات صلبة قد تصل في حجمها إلى حد إمكان رؤيتها بواسطة الميكروسكوب الضوئي المعتاد وذلك مثل البكتريا وذلك هو السبب في هذه التسمية التي تعنى عملية الأكل .



(شكل ١٢٥)

الخطوات المتتالية لعملية البلعمة حيث يتقارب القدمان الكاذبان ويندمجان معا لادخال المادة الغذائية

وفي هذه الحالة يتم ابتلاع هذه المواد عن طريق تكوين أقدام كاذبة ، وتلتقي هذه مع بعضها بحيث تندمج الأغشية الخلوية لتلك الأقدام لتتكون فجوات معينة محاطة بغشاء الخلية ( شكل ١٢٥ ) . وتشاهد هذه الظاهرة في العديد من الأوليات بصورة عامة وبعض أنواع البعديات ( الميتازوا ) مثل الخلايا البيضاء الحبيبية وبعض خلايا الأنسجة الضامة . كما أن اخذ الخلايا للحبيبات الصبغية يعتبر أيضا عملية بلعمة .

وتختلف الخلايا عن بعضها بالنسبة لخاصية البلعمة هذه ، فعلى سبيل المثال يمكن لبعض الخلايا أن تبتلع الفيروسات بينما لا يستطيع غيرها ذلك . وفي مثل تلك الخلايا البالغة تأخذ الفيروسات في التكاثر والتضاعف ويزداد عددها بكثرة واضحة . كذلك تختلف الخلايا السرطانية عن بعضها في قدرتها الابتلاعية حيث يكتسب البعض منها تلك الخاصية لا توجد في البعض الآخر . ويرى بعض الباحثين أن عملية البلعمة هذه أكثر انتشارا في الخلايا الليفية السرطانية في المزارع النسيجية عنها في الخلايا الليفية السوية . وبالإضافة إلى ذلك

فإن بعض الخلايا لها خاصية اختيارية فيما يتعلق بهذا النشاط الإبتلاعى . وعلى ذلك ، فإن هناك خلايا تبتلع حبيبات الأحمر المتعادل neutral red الصبغية ، بينما لا تبتلع البكتريا العسوية أو حبيبات الكربون . وبالمثل ، فإن الخلايا التى تنتج من الخلايا وحيدة النواة يحدث بها محور فى قدرتها البلعية عن الخلايا العادية التى تستطيع ابتلاع تلك البكتريا العسوية والحبيبات الكربونية .

وفى جميع هذه الحالات ، فإنه ليس من الضرورى أن تخترق الجسيمات المبتلعة غشاء الخلية ولكن على الاغلب فإن تلك الجسيمات تصبح ملامسة لغشاء الخلية ثم تغوص فى مادة الخلية التى تفيض حولها . وفى بعض الأحيان تحمل هذه الجسيمات أجزاء من أغشية الخلية داخل السيتوبلازم حيث تذوب أو يتم هضمها .

#### الارتشاف Pinocytosis :

تشير هذه الكلمة الى شرب الخلايا للمحاليل السائلة ، وذلك على عكس كلمة الإبتلاع التى تدل على عملية الأكل ، وقد وصفت عملية الإرتشاف هذه لأول مرة بواسطة العالم لويس (Lewis, 1931) . وبهذه الوسيلة فانه عند وضع الخلايا فى محاليل استزراع الخلايا والانسجة التى تحتوى على مواد سائلة معقدة التركيب من البروتينات وغيرها مما لا تستطيع الانتشار خلال أغشية الخلايا ، إلا أنه يمكن ابتلاعها عن طريق نشاطات الأقدام الكاذبة وحال دخول قطرات هذه المواد داخل الخلية ، فإنها تحاط بأجزاء من أغشية الخلية ، ثم تختفى بعد ذلك تدريجيا حيث تصبح من مكونات المادة السيتوبلازمية . وبعبارة أخرى ، فإن لفظ الإرتشاف يستخدم عادة لوصف طريق تكوين الفجوات الخلوية .



(شكل ١٢٦)

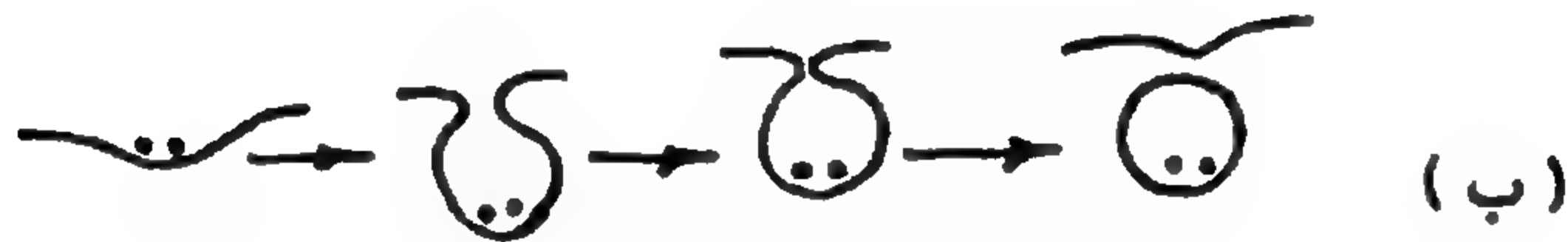
الخطوات المتتابعة لعملية الارتشاف

وذلك عن طريق تكوين حواف أو ( شراشيب ) نشطة من أغشية الخلايا التى تهبط بعد ذلك داخل الستوبلازم . وتتميز هذه الخلايا بأن حوافها متموجة وليست ملساء كمعظم الحالات . وقد أمكن متابعة تكوين مثل هذه الحواشى ونشاطاتها بواسطة التصوير العلمى .

وكما لوحظ فى محاليل استزراع الخلايا والأنسجة ، فإن الخلايا البلعمية الكبيرة macrophages تتميز بنشاط ارتشافى أكبر عنه من بقية الخلايا الأخرى . كذلك شوهد أن خلايا السرcoma السراطاني لها قدرة واضحة على عملية الارتشاف هذه ، وذلك أيضا فى مزارع الخلايا ، وعلى ذلك فإنها تشابه الخلايا البلعمية الكبرى فى هذا المجال . ومن ناحية أخرى . فإن العالم لويس قد ذكر عام ١٩٤٧ أن خلايا الكرسينوما carcinoma قد لا يمكنها القيام بعملية الارتشاف هذه لأنها أولا خلايا طلائية جالسة أى مرتكزة ( مثبتة ) على أنسجة أخرى ولا يمكنها تكوين أقدام كاذبة .



( أ )



( ب )

( شكل ١٢٧ )

( أ ) خطوات عملية ارتشاف دقيق ( ب ) عملية ارتشاف أوسع مدى

**الارتشاف الدقيق أو الارتشاف الشفطى أو الإدمصاصى :**

Micropinocytosis and rhotocytosis ( cell aspiring )

فى مثل تلك الحالات ، لا تقوم الخلايا بتكوين أقدام كاذبة ، ولكن غشاء الخلية يندغم للداخل فى السيتوبلازم مكونا حويصلات صغيرة ( شكل ١٢٦ ) .

والفرق بين العمليتين المذكورتين هو أنه فى حالة الشفط أو الإدمصاص فإنه يستلزم التصاق الجزيئات المرتشفة بغشاء الخلية ، إما فى حالة الارتشاف الدقيق ، فإن المواد الصلبة أو المحاليل المرتشفة لا يتعين أن تلتصق بغشاء الخلية ولكن يتم أخذها داخل التجاويف الخلوية مباشرة .

**الطرد الخلوى Clasmotosis :**

تتم هذه العملية على عكس عملية الارتشاف : ففى هذه الحالة تمتد من غشاء الخلية زوائد معينة محتوية على مواد معينة ، ثم تنفصل هذه الزوائد عن غشاء الخلية ، وفى هذه



الحالة فإن أجزاء غشاء الخلية هذه تتحلل أو تختفى ، وبذلك فإن هذه المواد تترك الخلايا دون اختراق أغشيتها .

وهناك ثلاثة أمثلة لعملية طرد المواد هذه : المثال الأول هو الخلايا كبيرة الأنوية megakaryocytes الموجودة فى نخاع العظام والتي تمتد منها أجزاء صغيرة من أقدامها الكاذبة خلال جدران الأوعية الدموية حيث تتكسر أو تتفتت مكونة الصفائح الدموية . والمثال الثانى الخاص بالخلايا البنىكرياسية الحية عند وضعها فى الصبغات الحية . هذه الخلايا تقوم بتكوين زوائد من أغشيتها الخلوية التى تحتوى على السيتوبلازم وبعض المواد الإفرازية . ثم تنفصل هذه الزوائد عن أغشيتها الخلايا فى تجويف القناة البنىكرياسية حيث تنساب إليها المواد الإفرازية . أما المثال الثالث فإنه يوجد فى الغدة الدرقية حيث لوحظ فى الخلايا الحية أن هناك مواد غروانية معينة تصل إلى داخل تجاويف الحوصلات الخلوية تكون محتواه داخل أغشية سيتوبلازمية . وهذه تنفصل من الخلية بما يؤدي إلى تحرر أو انطلاق هذه المواد الغروية من الخلايا ( بدون المرور خلال غشاء الخلية ) .

## الفصل الثامن والعشرين

### الانزيمات الخلوية CELLULAR ENZYMES

#### الخلية والتنفس CELL AND RESPIRATION

من المعروف ان الخلايا تقوم باداء العديد من الوظائف الحيوية مثل تكوين وهدم الكثير من المركبات فى درجة حرارة الجسم العادية . وتتم هذه العمليات تحت تأثير الإنزيمات التى قد تعمل على تنشيط أو إسرار هذه العمليات من ناحية ، أو تهبطها وتثبطها من ناحية أخرى .

والإنزيمات مركبات بروتينية معقدة تتحول الى محاليل غروية عند وضعها أو اذابتها فى الماء . وهناك عوامل معينة تتحكم فى مدى نشاطات الإنزيمات ، وذلك مثل قوة تركيز الإنزيم والركيزة substrate التى يؤثر عليها ، ودرجة حرارة الوسط الذى يتم فيها التفاعل ( حيث يعمل ارتفاع درجة الحرارة على ارتفاع معدل التفاعل إلى حد معين ) ، ومعدل تركيز الأس الهيدروجينى pH وذلك لأن كل إنزيم يلزمه مستوى محدد من هذا التركيز بجانب عناصر معدنية منشطة مثل الصوديوم (Na+) والبوتاسيوم (K+) والمغنسيوم (Mg++) والزنك (Zn++) والكالسيوم (Ca++) والكوبالت (Co++) والحديد (Fe++) .

وتتقسم الإنزيمات الى مجموعتين أساسيتين ، هما :

١- إنزيمات محللة أو مميئة Hydrolytic enzymes : وتختص بتحليل الاتواع المختلفة من المواد الغذائية .

٢ - الإنزيمات التنفسية Respiratory enzymes : وهى المسئولة بصورة رئيسية عن النشاطات التنفسية فى الانسجة والخلايا الجسمية .

ويتم افراز أو تكوين الإنزيمات المحللة على هيئة غير نشطة يسمى الزيموجين Zymogen ، تمر من الخلايا التى كونتها الى التجاويف الجسمية حيث يتم تحويلها الى الحالة النشطة بواسطة مواد معينة تسمى المحركات او المنشطات kinases ؛ فعلى سبيل المثال يتم تحويل التريسينوجين غير النشط إلى تريسين نشط تحت تأثير الإنتيروكينيز (Trypsinogen enterkinose Trypsin) .

وبالنسبة للإنزيمات التنفسية ، فهناك مواد معينة قد تؤثر على نشاطاتها تعرف بالإنزيمات المرافقة coenzymes التي تحدد مع الإنزيمات التنفسية غير النشطة (apoenzymes) فتحولها إلى إنزيمات نشطة كاملة (holoenzymes) : من هذه المواد : جلوتاثيون glutathione وريبوفلافن riboflavin .

كذلك يمكن تقسيم الإنزيمات إلى النوعين التاليين :

أ - إنزيمات بين خلوية Intercellular enzymes ، وهي الإنزيمات التي تقوم الخلايا بإفرازها في الأماكن أو المساحات بين الخلوية ، وذلك مثل إنزيم هيبورينيداز hyaluronidase الذي يفرز في الأنسجة البينية في الخصية .

ب - إنزيمات خلوية داخلية Intracellular enzymes ، وهي التي تفرز داخل الخلية وتبقى فيها للقيام بدورها في النشاطات الخلوية المختلفة .

على أنه من الناحية السيتولوجية ، تعتبر إنزيمات المجموعة الثانية ( الخلوية الداخلية ) أكثر أهمية من المجموعة الأولى ، وإن كان البعض منها قد يمارس نشاطه خارج الخلايا وذلك مثل حامض الأسكوربيك ascorbic acid وإنزيم ريبونوكلياز ribonuclease . ومن الناحية الأخرى ، هناك إنزيمات مثل إنزيمات سيتوكروم cytochromes تفقد فاعليتها إذا خرجت من الخلايا . وفي هذا الاتجاه ، تقسم الإنزيمات إلى الأنواع الثلاثة التالية .

١ - الإنزيمات المحللة Lyoenzymes ، وتوجد ذائبة في البروتوبلازم ومن الممكن استخلاصها بطرق معينة .

٢ - الإنزيمات الثابتة Demoenzymes ، وتكون مرتبطة بالبروتوبلازم ويصعب استخلاصها بالطرق العادية .

٣ - الإنزيمات الداخلية Endoenzymes ، وتكون عادة مدمجة أو مرتبطة بالأغشية الخلوية ، وهذه يمكن استخلاصها في حالة إذابة تلك الأغشية بالوسائل الكيميائية أو الميكانيكية .

وفيما يتعلق باماكن أو مناطق تواجد الإنزيمات داخل الخلية ، هناك البعض منها الذي



يكون منتشراً في الأرضية أو المادة السيتوبلازمية cytoplasmic matrix وذلك مثل الانزيمات محللة الجليكوجين glycolytic enzymes . ويوجد البعض الآخر داخل محتويات معينة وذلك مثل اللوسوسومات lysosomes ، ويرتبط البعض الآخر بالأغشية الخلوية . أما فيما يتعلق بالانزيمات التنفسية ، فإنها تقع جميعها بلا استثناء داخل الميتوكوندريا .

### الانزيمات التنفسية أو المؤكسدة Respiratory or oxidative enzymes :

هذه الانزيمات - كما سبقت الإشارة - توجد جميعها داخل الميتوكوندريا ، وتلعب الدور الرئيسي في جميع عمليات الأكسدة داخل الخلايا . وبصورة أدق فإنها توجد داخل أو على الحواجز الميتوكوندرية مترتبة بطريقة تتابعية معينة . وقد أمكن الحصول من الميتوكوندريا على حبيبات انزيمية كوية الشكل متوسط أقطارها ١٥٠ أنجستروم ، وتستطيع هذه الحبيبات الدقيقة القيام بعمليات الأكسدة ونقل الإلكترونات من موقع لآخر .

وتعتبر السيتوكرومات cytochromes أكثر هذه الإنزيمات أهمية ، وهي إنزيمات محتوية على الحديد في تركيبها ، والمعروف أنه يوجد منها خمسة أنواع في ميتوكوندريا الخلايا الحيوانية يشار إليها بالرموز :  $b-c_1-C_2-a$  and  $d_2$  والمعتقد أن سيتوكروم (a) هو مثل انزيم " سيتوكروم أكسيداز " cytochrome oxidase أي انزيم سيتوكروم المؤكسد .. وهي عموماً تختلف اختلافاً طفيفاً عن بعضها فيما يتعلق بامتصاص بعض الحزم الإشعاعية .

أما المجموعة الأخرى من هذه الإنزيمات ، فتلك التي لها القدرة على انتزاع الهيدروجين من الركائز المختلفة ، ولذا يطلق عليها الإنزيمات نازعة الهيدروجين ( ديهيدروجيناز ) Dehydrogenases ، وأشهرها انزيم (سكسينيك ديهيدروجيناز succinic dehydrogenase) الذي يقوم بتنشيط أيونات الفوسفات من حامض السكسينيك .

وتحدث عمليات الأكسدة داخل الخلايا وهي تلعب دوراً هاماً في تحرير أو إطلاق الطاقة الحرارية اللازمة للنشاطات الخلوية . ويطلق على عمليات التأكسد هذه بصورة عامة " التنفس الخلوي الداخلي " Intracellular respiration .

وقد ظل الاعتقاد سائدًا زمنًا طويلًا أن عملية الأكسدة وعملية الاختزال المقابلة لها تعتمدان بصورة أساسية على الاتحاد المباشر بالكسجين أو فقدانه . إلا أنه أصبح من المعلوم الآن أنه في حالة التنفس اللاهوائي - حيث لا يوجد الأكسجين - تحدث سلسلة متتابعة من الأكسدة والاختزال .

### النظرة الحديثة لمفهوم الأكسدة والاختزال :

Modern view of oxidation and reduction

تشير هذه النظرة إلى أن عملية التأكسد تعني إنتزاع أو إستخلاص الألكترونات من الجزيئات أو الذرات ، وتعني عملية الاختزال عكس ذلك ، أي إضافة الكترونات إلى الجزيئات والذرات .

وعلى ذلك ، فإنه بالإضافة إلى عملية الارتباط المباشر بالكسجين فإنه يمكن اعتبار التغيرات الكيميائية الآتية عمليات أكسدة :

١ - فقدان الهيدروجين ، مثال ذلك ، تتم أكسدة حامض الأسكوربيك إلى حامض الاسكوربيك منزوع الهيدروجين نتيجة لفقدان ذرتين من الهيدروجين

Ascorbic acid - 2H dehydro ascorbic acid.

٢ - إضافة الماء ، مع تزامن فقدان الهيدروجين ، وذلك مثل حالة تكوين حامض الخليك (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) من الكحول الإيثيلي .

٣ - فقدان الإلكترونات مع عدم إضافة أكسجين أو فقدان الهيدروجين ساعتيئذ . مثال ذلك الحديد ثنائي التكافؤ Ferrous (Fe<sup>++</sup>) bivalent iron من أكسدته إلى حديد ثلاثي التكافؤ Ferric (Fe<sup>+++</sup>) trivalent iron ومعنى ذلك تحول ايون الحديد الاول الى النوع الثانى نتيجة لفقدان الكترون واحد فقط (Fe<sup>++</sup> --- Fe<sup>+++</sup> + e<sup>-</sup>) .

وعلى أية حال ، فإنه في جميع هذه العمليات الكيميائية ، فإن الحقيقة الأساسية هي أن عملية الأكسدة oxidation هي في جوهرها عملية فقدان الكترونات من الجزيء أو الذرة المؤكسدة وفى مقابل ذلك فإن عكس هذه العملية ، أى الاختزال reduction تتم عن طريق إضافة الإلكترونات .

## التنفس الخلوى CELL RESPIRATION

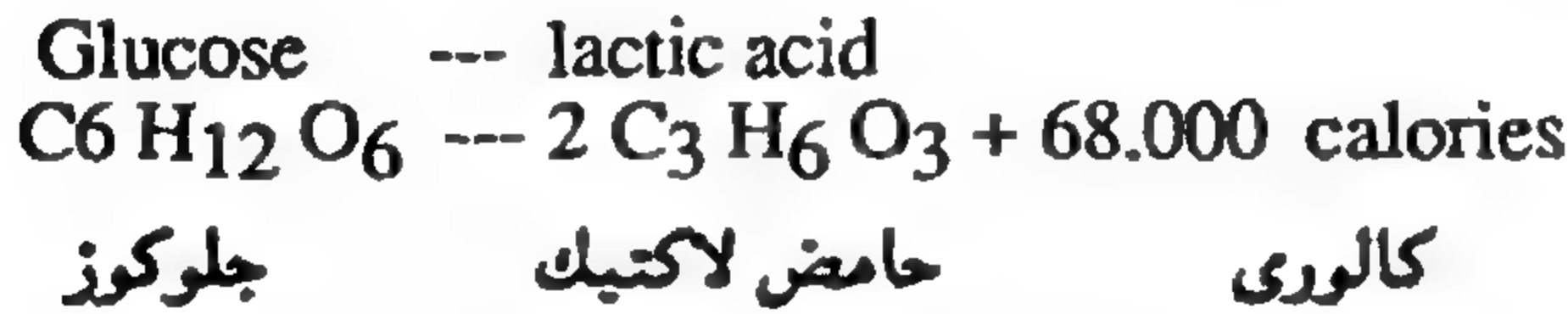
تطلق هذه العبارة على جميع العمليات الحيوية التى تحدث داخل الخلايا وتؤدى إلى انطلاق الطاقة الحرارية الكامنة فى المركبات الخلوية . وهناك نوعان من هذا التنفس ، هما :

أ - التنفس الهوائى Aerobic respiration وهو يتم فى وجود الاكسجين .

ب - التنفس اللاهوائى Anaerobic respiration ، وهو الذى يتم عن طريق انتزاع الهيدروجين من المركبات الخلوية .

### التنفس اللاهوائى Anaerobic respiration

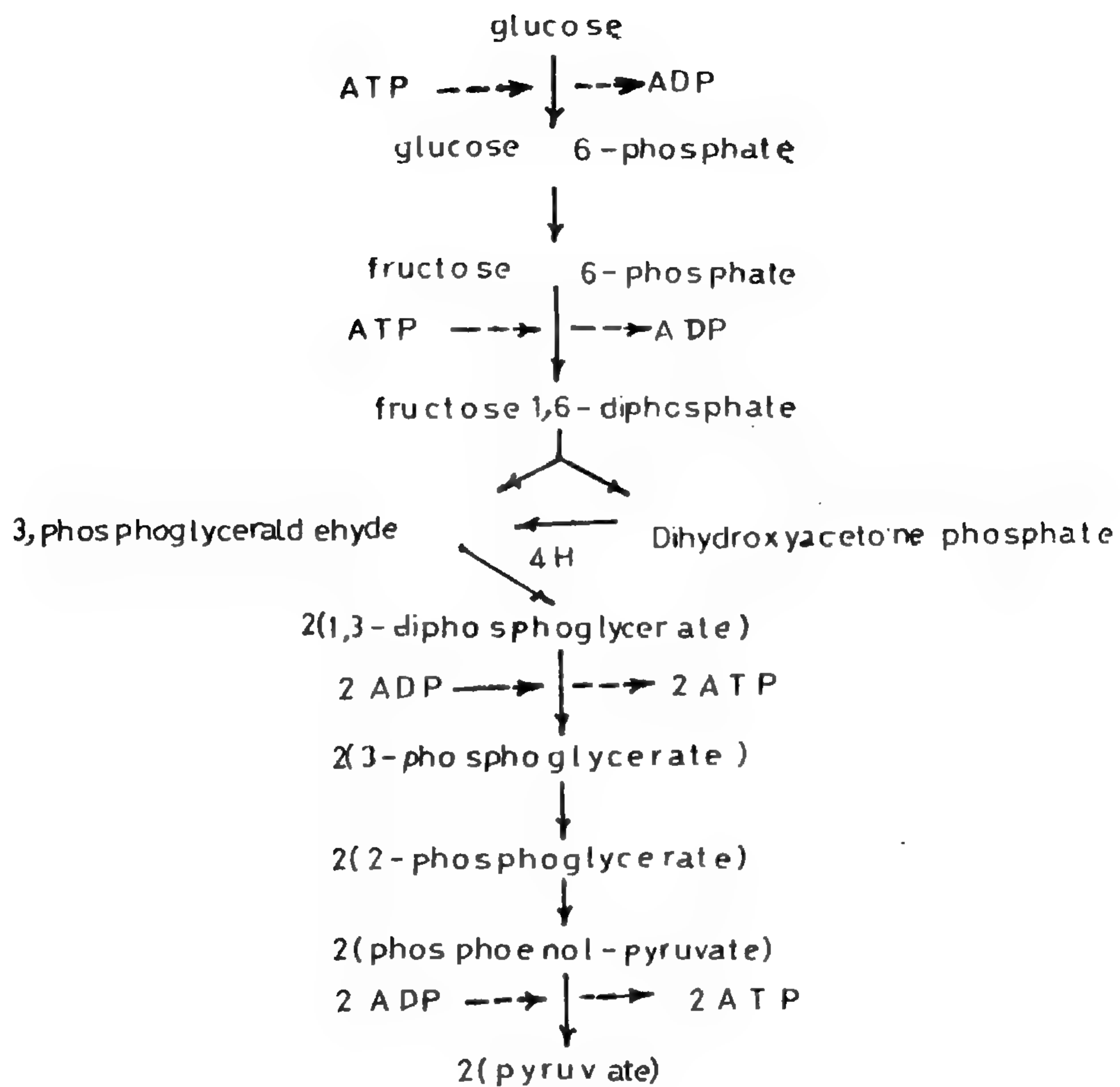
وهو الذى يحدث - كما سبق القول - فى وسط خلوى لا يتوفر به الاكسجين الجزئى فى السيتوبلازم فى جميع الخلايا الحية . ومن افضل الامثلة لذلك ، عملية تحليل الجلوكوز glycolysis التى تحدث فى الخلايا العضلية .



وبصفة عامة ، فانه من أهم نواتج مثل هذا التنفس غير الهوائى حامض البروفيتيك pyruvic acid . وفى حالة تحليل الجلوكوز ، يتهدم كل جزئ من حامض اللاكتيك المتكون الى جزئين من حامض البروميتك . ويلاحظ فى هذه الحالة عدم ضرورة وجود الكسجين ، ومع ذلك تنطلق الطاقة الحرارية ، ولعل ذلك سبب تسمية هذه العملية الاكسدة اللاهوائية anaerobic oxidation .

ويمكن متابعة الخطوات المختلفة المتضمنة فى هدم الجلوكوز على النحو التالى :





( شكل ١٢٨ )

التنفس اللاهوائي Anaerobic respiration

## الانزيمات والانتزيمات المرافقة المتضمنة فى عمليات تحليل الجلوكوز

### Enzymes and coenzymes of glycolysis

Enzymes		coenzymes or activator
الانزيمات		الانتزيمات المرافقة أو المنشطات
Hexokinase	هكسوكينيز	Mg <sup>++</sup>
Glucose -6-phosphatase	جلوكوز - ٦ - فوسف	Mg <sup>++</sup>
Phosphohexose isomerase	فسفوهكسوز أيسوميريز	Mg <sup>++</sup>
Phosphofructokinase	فسفوفركتوكينيز	Mg <sup>++</sup>
Diphosphofructose phosphatase	فسفوفركتوز فوسفاتيز	Mg <sup>++</sup>
Aldolase	الدوز	Zn <sup>++</sup> -Co <sup>+</sup> -Fe <sup>++</sup> -Cu <sup>++</sup>
Phosphoglyceraldehyde dehydrogenase	فسفوجليسر الديهيد	DPN
	دهيدروجينيز	
Phosphoglyceric acid kinase	حامض فسفوجليسيريك كينيز	Mg <sup>++</sup>
Phosphoglyceromutase	فسفوجليسرومييتيز	Mg <sup>++</sup>
Endolase	اندوليز	Mg <sup>++</sup> -Mn <sup>++</sup>
Pyruvic acid kinase	حامض بيروتيك كينيز	Mg <sup>++</sup> -K <sup>+</sup>
Lactic acid dehydrogenase	حامض لاكتيك ديهيدروجينيز	DPN-Mg <sup>++</sup>

ويلاحظ أن وجود الأكسجين ليس مطلوبا فى عملية تحليل الجلوكوز ، وحصيلة هذه العملية تكوين جزيئين من الأدينوزين ثلاثى الفوسفات ATP بالنسبة لكل جزيئ مستخدم من الجلوكوز . وهذه الكمية ليست فعالة بنفس القدر كما يحدث عند تكوين ٣٨ جزيئا من ATP فى حالة استخدام حامض البروثيك pyruvic acid اثناء عملية التنفس الهوائى ( أكسدة الكربون إلى ثانى اكسيد الكربون ) وذلك داخل الميتوكوندريا . على ان هذا لا يمنع من القول أن عملية التنفس او الاكسدة اللاهوائية لها أهميتها الخاصة عندما تكون هناك حاجة سريعة لتوفر الطاقة الحرارية وذلك مثل الحالات الجنينية وحالات الخلايا السرطانية حيث تكون هذه الطريقة هى الوسيلة الأساسية المتاحة فى تلك الظروف . كذلك تحدث هذه العملية فى الخلايا التى تم تمييزها وذلك مثل الخلايا العضلية .

## التنفس الهوائي Aerobic respiration :

فى حالة التنفس الهوائى ، يتحتم وجود الاكسيجين لاحتراق المواد العضوية



جلوكوز

كالورى

وتحدث هذه العملية فى الميتوكوندريا التى توجد منتشرة فى أنحاء السيتوبلازم فى جميع الخلايا حقيقية النواة eukaryotic cells . ولذلك يطلق على الميتوكوندريا " نباتات الطاقة " plants of energy . ويختلف توزيع الميتوكوندريا وتعدادها ونمط تواجدها فى الخلايا المختلفة حسب معدلات نشاطات هذه الخلايا .

على أن عملية التنفس الهوائى هذه مرتبطة ارتباطا وثيقا لعملية التنفس اللاهوائى ؛ فتهدم الجلوكوز ( الذى يحدث خلال عملية التنفس اللاهوائى ) فى مادة السيتوبلازم تنتج عنه مادة بيروفيك pyruvate التى تنتشر داخل الميتوكوندريا بعد تحويلها الى انزيم اسيثيل أ المرافق acetyl coenzyme A . وتدخل هذه المادة أو تمر بدورها خلال سلسلة متتابعة من المتفاعلات يطلق عليها فى مجموعها " دورة كاربوكسيليك الحمضية الثلاثية أو دورة كريس tricarboxylic acid cycle or kreb's cycle. متهدمة الى ذرات ثانى اكسيد الكربون والهيدروجين . والواقع أن جميع المواد الغذائية ( مشتملة على المواد الكربوهيدراتية والدهون والبروتينات ) يتم تهديمها فى مادة السيتوبلازم الى " انزيم اسيثيل أ المرافق " acetyl coenzyme A الذى يتم اشتقاقه من مصدرين رئيسيين هما الجلوكوز والأحماض الدهنية . وتوجد جميع الإنزيمات المستولة عن دورة كريس داخل الميتوكوندريا .

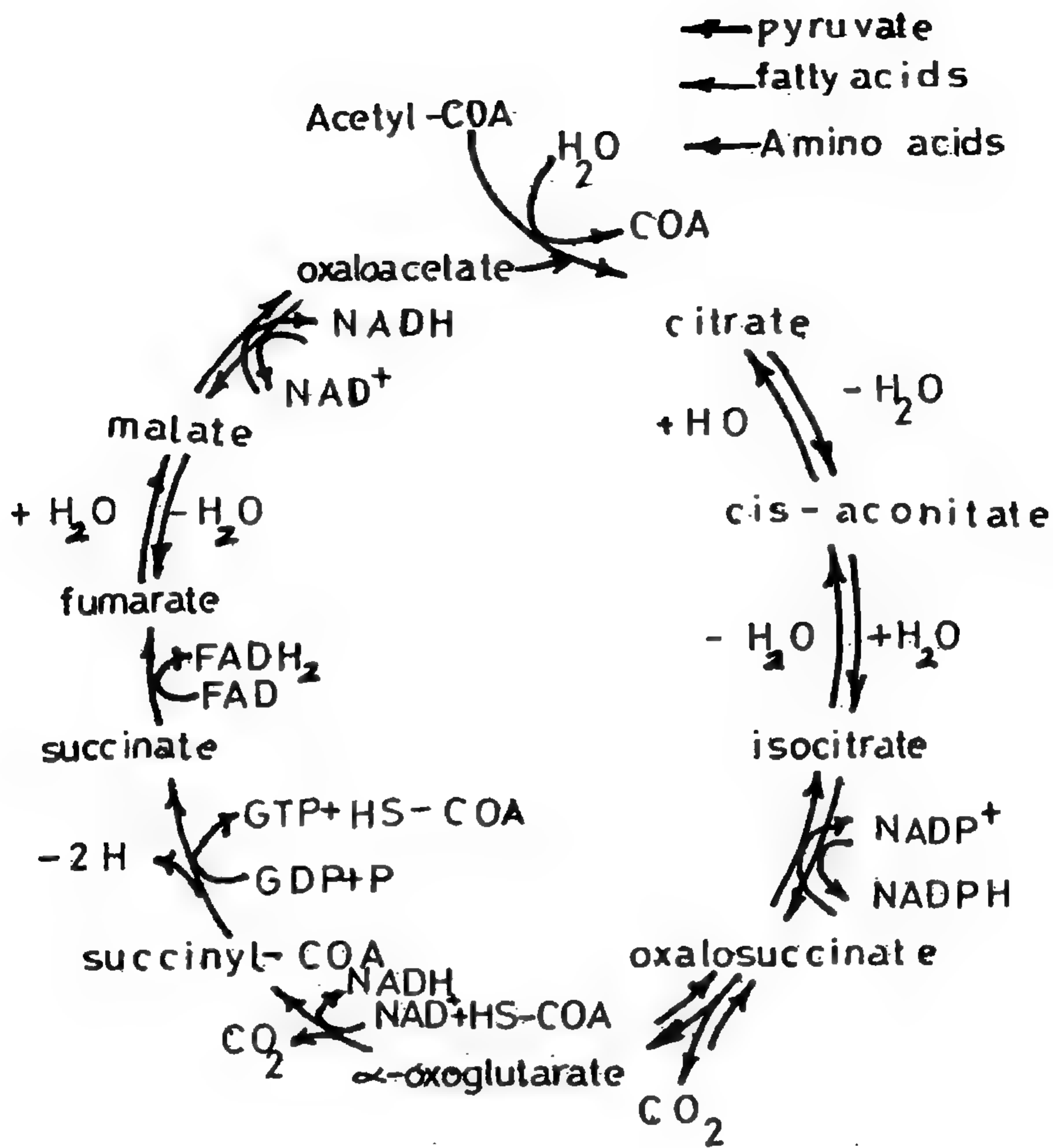
ويمكن سرد الخطوات المتتابعة دورة كريس على النحو التالى :

١ - تتحول مادة بيروفيك أولا إلى " إنزيم اسيثيل أ المرافق " acetyl coenzyme A .

٢ - يتحد انزيم اسيثيل أ المرافق مع مادة " اكسالواسيتيت oxaloacetate " وبذلك تتكون مادة سترات citrate وهى الركيزة الاولى فى دورة كريس .



- ٣ - تفقد السترات جزئيا من الماء وتنتج مادة " اكونتيت "  $\text{aconitate}$  .
- ٤ - باضافة الماء الى مادة اكونتيت تتكون مادة " أيزوسترات "  $\text{isocitrate}$  .
- ٥ - تتأكسد مادة "أيزوسترات " الى مادة " اكسالوسكسينيت  $\text{oxalosuccinate}$  ويعمل هذا على اختزال مادة " نيكوتيناميد - أدنين ثنائي النيوكليوتيد "  $\text{nicotinamide-adenine dinucleotide (NADP+)}$  الى  $\text{NADPH}$  المختزل
- ٦ - يفقد اكسالوسكسينيك ثاني اكسيد الكربون مكونا اكسالوجلوتاريت  $\text{oxaloglutarate}$  .
- ٧ - تتحول هذه المادة الى " سكسينيل أ - المرافق  $\text{succinyl A - Co.A}$  في وجود " انزيم أ - المرافق "  $\text{coenzyme A}$  .
- ٨ - يستخدم جزء من مادة السكسينات في مرحلة متأخرة لتكوين ادينوزين ثلاثي الفوسفات  $\text{ATP}$  . أما بقيتها فينتزع منها الهيدروجين متحولة الى مادة " فيوماريت "  $\text{fumarate}$  .
- ٩ - باضافة الماء الى فيوماريت تتكون مادة " ماليت "  $\text{malate}$  .
- ١٠ - يتأكسد الماليت الى اكسالوأسيتيت مكونا جزئيا اخر من  $\text{NADH}$  وذلك من  $\text{NADT}$  .
- وعند هذا الحد تعاد دورة كريس وتتحدمادة اكسالواستيك مع انزيم اسيتيل أ - المرافق مكونا السترات .



(شكل ١٢٩)  
دورة كريبس

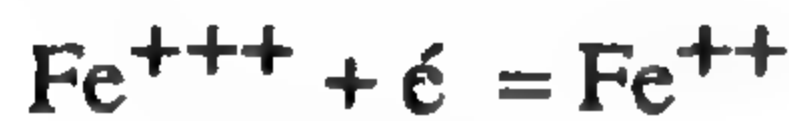
### السلسلة التنفسية Respiratory chain :

في نهاية العملية تتم أكسدة الهيدروجين مصحوبا بانطلاق طاقة حرارية أكثر لتكون  
الدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP . ويتعرض الجزيء المؤكسد الناتج من دورة كريبس الى

سلسلة من تفاعلات الأكسدة والاختزال داخل الميتوكوندريا. ويوضح الشكل التالي مساراً مبسطاً لحمل أو نقل سلسلة الإلكترونات ، وفيه يشار إلى نيوكلبيوتيدات أدينين نيكوتينيميد المختزل (NPDPH). reduced nicotinamide adenine nucleotides على أنها مركبات .  
السلسلة المتتابعة لعمليات الأكسدة والاختزال في السلسلة التنفسية التي تحدث في البيئات المرتبطة باغشية الميتوكوندريا

successive oxidation - reduction reactions in the respiratory chain which occur in the particles attaches to the membranes of hte mitochondria.

السيتوكرومات حاملة الحديد The cytochromes-iron containing  
هذه الانزيمات هي المتضمنة في تفاعلات الأكسدة والاختزال وتعتمد بصورة أساسية على التحولات الآتية :



وسيتوكروم (a3) أو سيتوكروم المؤكسد cytochrome oxidase هو الذي يقوم بالمرحلة النهائية فيما يتعلق بحمل الإلكترونات إلى الأكسجين واتحاده بالهيدروجين لتكوين الماء . وهذه هي الخطوة أو المرحلة الوحيدة التي تتطلب وجود الأكسجين في عملية التنفس الهوائي .

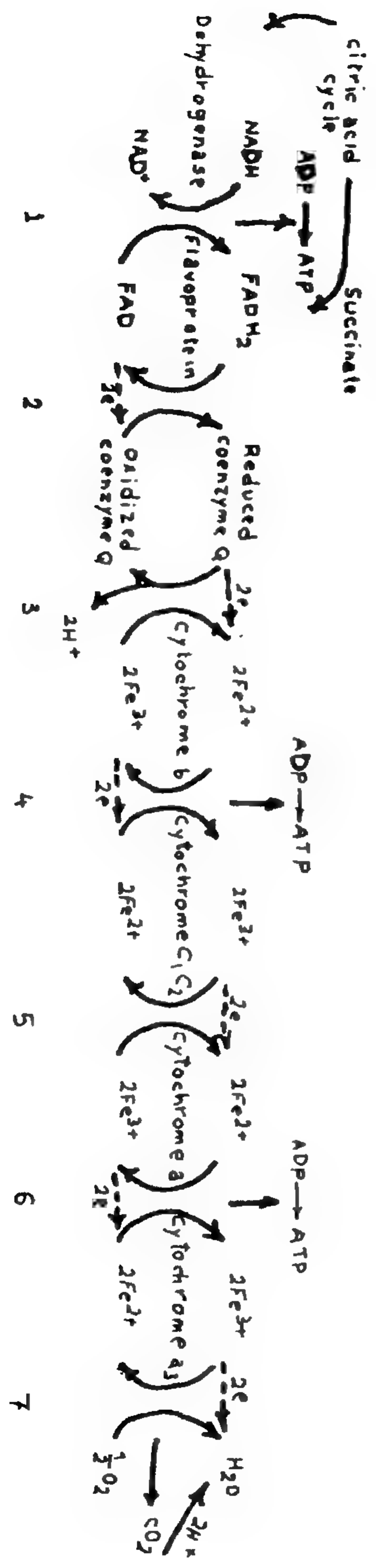
فسفرة التأكسد Oxidative phosphorylation :

كما ذكر سابقا ، فإن الطاقة المتحررة أثناء المراحل المختلفة في السلسلة التنفسية تستخدم لإنتاج أدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP من أدينوزين ثنائي الفوسفات ADT ، ومعنى ذلك أن تلك الطاقة المتحررة تختزن في الأدينوزين ثلاثي الفوسفات . وعملية تكوين أدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP هذه هي التي يطلق عليها عملية " فسفرة التأكسد " oxidative phosphorylation وذلك لأن الفوسفات يتم إضافته إلى الأدينوزين ثنائي الفوسفات ADP باستخدام الطاقة الناتجة عن التأكسد .

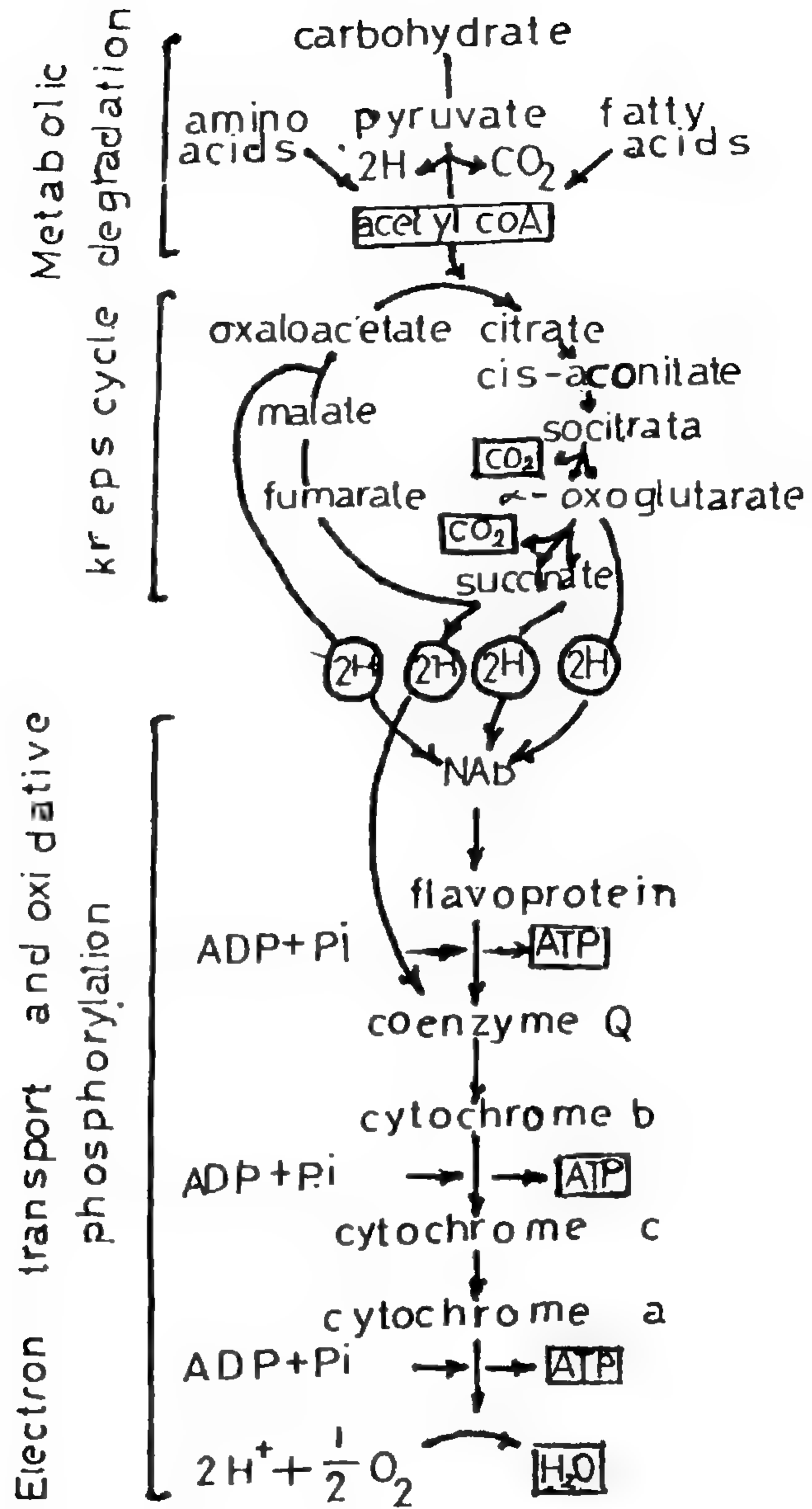


غير عضوي أدينوزين ثلاثي الفوسفات طاقة فوسفات أدينوزين ثنائي الفوسفات  
وتقدر الحصة النهائية لأدينوزين ثلاثي الفوسفات المتكونة نتيجة عملية أكسدة كاملة لجزئ جلوكوز في الخلية بمقدار ٣٨ جزئاً .





(شكل ١٣) سلسلة التفاعلات الكيميائية في العملية التنفسية



شكل (١٣١)

السلسلة التنفسية في الحالة العادية (الهوائية)





## الفصل الثالث والعشرون

### الإفراز الخلوي Cell secretion

تحدد عادة عملية الإفراز الخوى كنتيجة للنشاط الخوى الذى يتم على ثلاث مراحل :

(١) امتصاص الخلية لمواد معينة عن طريق غشاء الخلية وتعرف هذه الحالة بعملية البلع ingestion .

(٢) تكون مواد داخل الخلية وتعرف بعملية التخليق synthesis .

(٣) التخلص من منتجات الإفراز بطردها خارج الخلية والتي تعرف بعملية القذف او البثق extrusion . وقد تستخدم المنتجات الإفرازية بواسطة خلايا أخرى أو تقوم بتنشيط أو تثبيت خلايا معينة أو قد تتفاعل كيميائيا مع بعض المواد الأخرى أو تستبعد نهائيا من جسم الحيوان . وبصورة عامة تعرف عملية افراز الخلية بانها العملية التى بواسطتها يتم تخليق المواد داخل الخلية لكى تستفيد منها خلايا أخرى أو تطرد خارج الجسم .

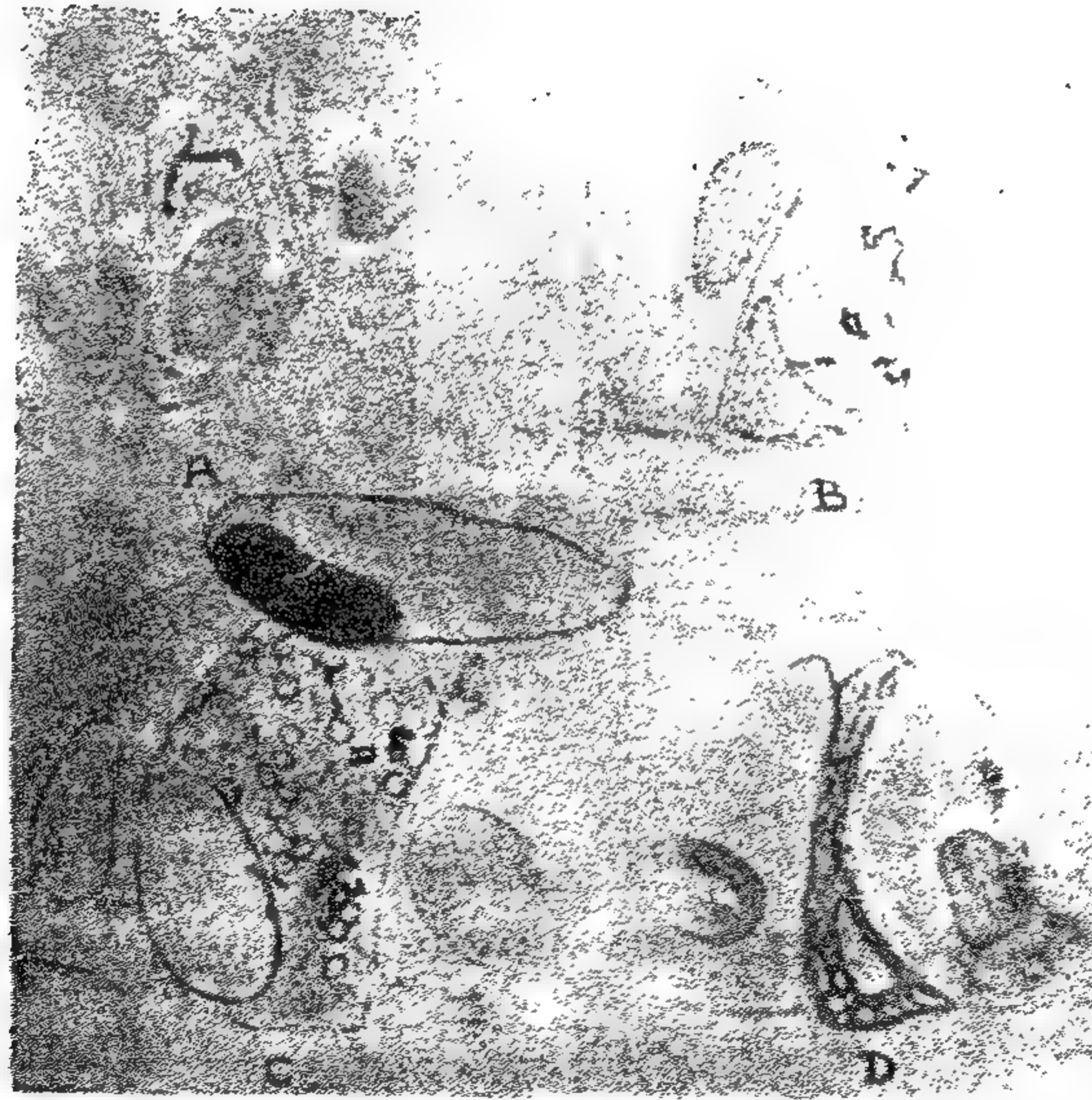
وتعتبر عملية الإفراز واحدة من أهم الوظائف الخلوية المعقدة ويشارك فى عملية الإفراز هذه معظم المكونات الخلوية مثل جهاز جولجى ، والشبكة الاندوبلازمية ، والريبوسومات ، والنواة ، والنواة التى تقوم بدور مباشر أو غير مباشر فى عملية الإفراز هذه .

#### الدورة الإفرازية secretory cycle :

طبيعة المنتجات المفرزة (Nature of secretory products) : فالمواد الإفرازية التى تتكون بالخلية إما ان تكون موادا مرئية يمكن مشاهدتها وتوضيحها بسهولة بالطرق السيتولوجية أو تكون موادا غير واضحة فى الخلايا ويصعب إظهارها بالطرق السيتولوجية . وبذلك يمكن التمييز بين نوعين من الإفراز .

(١) فى حالة النوع الأول ، يمكن تمييز المواد الإفرازية بسهولة داخل الخلايا بواسطة الميكروسكوب الضوئى . حيث تتجمع هذه المواد داخل الخلية أولا ثم تطرد بعد ذلك

خارجها . وتظهر هذه المواد على هيئة حبيبات كاسرة للضوء ( لامعة ) او داكنة أو فجوات او قطيرات .. الخ ، وعادة ما توجد هذه الإفرازات فى مكان محدد فى الخلية ولها القابلية الشديدة للتفاعلات الهستوكيميائية . ويشاهد هذا النوع من المواد الإفرازية بوضوح فى بعض خلايا البنكرياس ، وتنتمى خلايا البنكرياس هذه إلى فصيلة الخلايا المكونة لحبيبات الإفراز والتي تعرف باسم البروانزيمات (proenzymes) وتشاهد النواة فى مثل هذا النوع من الخلايا فى الجزء القاعدى للخلية ، كما توجد مواد نيكليوبروتينية nucleoproteins وميتوكوندريا مستطيلة . وأثناء الإفراز النشط للخلية فإن الجزء العلوى منها والذي يقع فوق النواة يمتلئ بحبيبات معينة كاسرة للضوء ( لامع ) غنية بالبروتينات وهذه هى حبيبات الإفراز . وتتداخل مع هذه الحبيبات شبكة جهاز جولجى . وفى مراحل متأخرة تتحول هذه الحبيبات إلى الحالة السائلة ثم تمر خارج الخلية عن طريق تمزق يحدث فى الجزء العلوى لغشاء الخلية . ويتضخم جهاز جولجى أثناء عملية الإفراز وتزداد قابليته للإصطباغ .



(شكل ١٣٢)

شكل يبين النشاط الإفرازى لخلايا فى الغدة جار الدرقية

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| (A) حالة فى مرحلة غير افرازية توضح جهاز جولجى | (B) تضخم جهاز جولجى وتفككه      |
| (C) تراكم الإفرازات                           | (D) انطلاق الإفرازات من الخلايا |

(٢) أما فى حالة النوع الثانى ، فقد ثبت فسيولوجيا أن الخلايا تقوم فعلا بعملية تكوين الإفرازات الخلوية ، ولكن نواتج هذه الإفرازات لا يمكن الكشف عنها سيتوكيميائيا . ووضح مثال لهذه الإفرازات ما يحدث فى الغدة جارالدرقية Parathyroid gland والتي تقوم بإفراز هرمونا قويا له القدرة على تنظيم أيض الكالسيوم فى جسم الحيوان . وفى هذه الحالة يمكن تحديد وتعين الدورة الإفرازية عن طريق دراسة التغيرات التى تحدث فى مكونات الخلية أثناء فترة نشاط الغدة . ولهذا فإن الحقن بجرعة كبيرة من مستخلص الغدة جارالدرقية يؤدى إلى ظهور بعض التغيرات السيتولوجية والسيتوكيميائية فى الخلية ، وفى مبدأ الامر تبدى الخلية مظهرا متجانسا ويظهر جهاز جولجى على هيئة جهاز شبكى الشكل . وبعد مرور بعض الوقت فإن جهاز جولجى يتفكك أو يتحلل إلى عناصر صغيرة تنتشر فى السيتوبلازم . وبجانب ما يحدث لجهاز جولجى من تغيرات تظهر فى الخلية فجوات كبيرة كما تشاهد الميتوكوندريا حبيبية الشكل . ولهذا فإنه على الرغم من أن النواتج الإفرازية غير مرئية إلا ان التغيرات التى تحدث فى العضيات السيتوبلازمية تعكس مراحل عملية الإفراز داخل الخلايا .

#### طرق دراسة الدورة الإفرازية Methods of study of secretory cycle

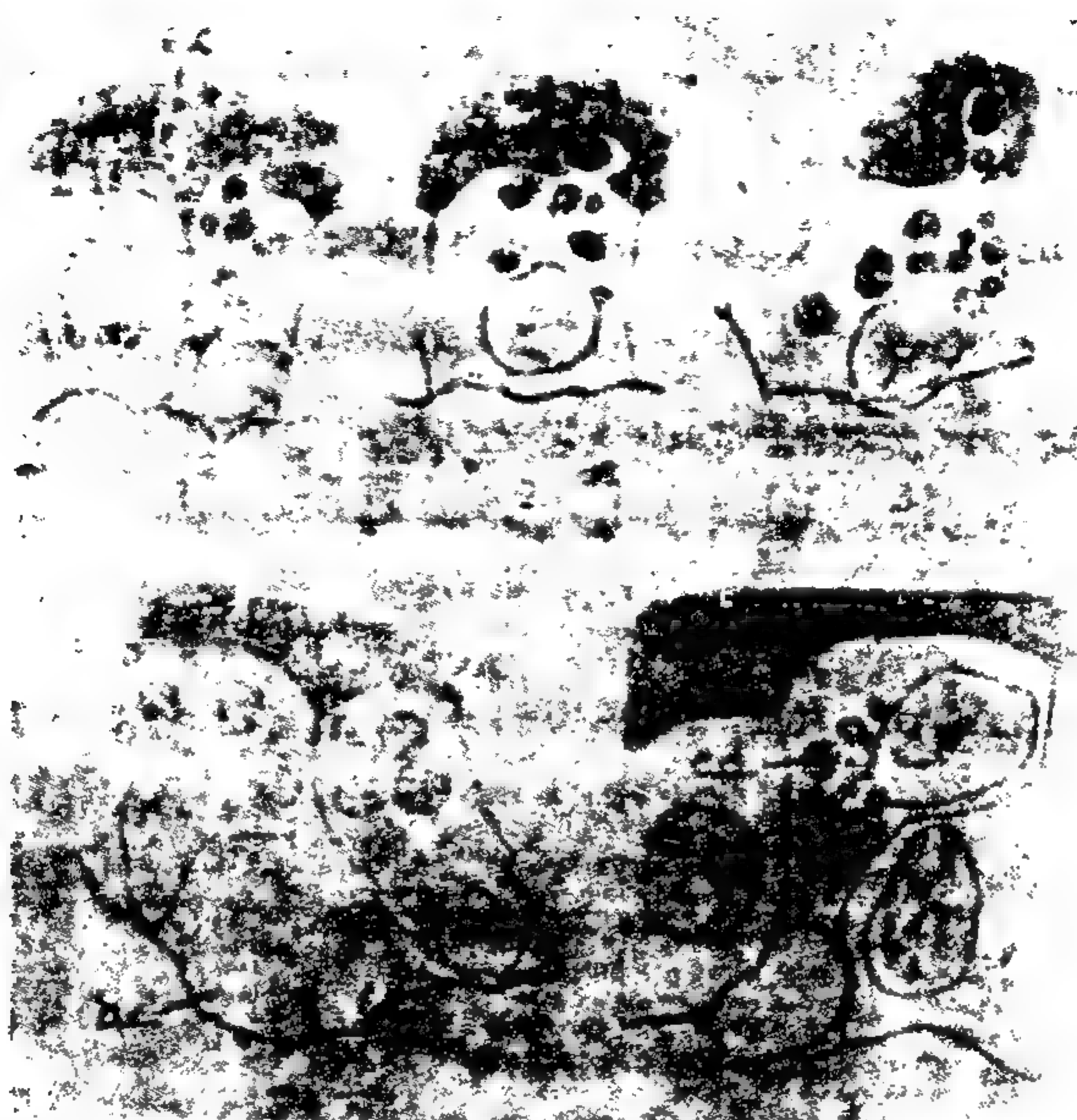
##### ١ - دراسة سيتولوجية لدورة الإفراز Cytological-study

##### أ - باستعمال الطرق التقليدية By using classical techniques

يمكن مقارنة الخلية التى تقوم بعملية الإفراز بآلة معقدة تقوم بإنتاج وطرده أو إخراج مواد إفرازية معينة . وعملية الإفراز عملية مستمرة ، ولذلك فإن الخلايا المختلفة لغدة مفرزة تمثل مراحل مختلفة لنشاط الغدة . وتبعاً لذلك فإن التحضيرات الهستولوجية والهستوكيميائية لهذه الغدة مثلا تظهر صفات أو مميزات مورفولوجية مختلفة تبعا لمراحل الانشطة المختلفة للغدة . ويبدو واضحا أنه عند تثبيت خلية ما فإن الصورة الظاهرة لهذه الخلية توضح خطوة واحدة من مراحل الإفراز وهى الحالة التى تثبت عليها الخلية عند وضعها فى المثبت . وعند دراسة عملية الإفراز لنوع ما من الخلايا فإنه لا بد من وضع عامل الزمن فى الاعتبار وخصوصا عند إجراء ألى تحليل خلوى ظاهرى . والطريقة المثلى لدراسة عملية الإفراز هى ملاحظة الخلايا الحية لزمن كاف . وللحصول على صورة موحدة للنشاط الإفرازى للخلايا تستعمل بعض المؤثرات التى تحدد وتنظم نشاط هذه الخلايا بأسلوب موجد . فمثلا عندما يراد دراسة عملية



الافراز فى خلايا البنكرياس ذات الافراز الداخلى Exocrine فان الحيوان يتم تصويمه أر تجويعه fasted وذلك للوصول إلى حالة سكون ثم بعد ذلك تثار الخلايا بمادة تسبب إفرازا سريعا للمواد المفرزة مثل مادة البيلوكارين Pilocarpine وفى هذه الحالة تظهر جميع خلايا الغدة فى صورة موحدة من النشاط .



(شكل ١٣٣)

مراحل تكوين الإفرازات فى خلايا غدد درقية

#### ب - باستعمال طريق التجميد المجفف ( المجفوف )

By using the freezing drying method

وتستعمل هذه الطريق ايضا لدراسة دورة الإفراز وذلك لأنها تعمل على إيقاف الأنشطة الخلوية المختلفة وبذلك لا تسمح هذه الطريق بحدوث تغيرات كثيرة فى الخلايا أثناء عملية التثبيت كما أنها تظهر النواتج الذائبة المختلفة حتى لو كانت فى تركيزات مخففة جدا . وفى الغدة الدرقية يظهر بطريقة المجفوف محلول غروى داخل الخلايا لا يمكن مشاهدته بالطرق التقليدية ، كما أنه أمكن تتبع تكوين وإخراج هذا المحلول الغروى من الخلية بهذه الطريقة .

وقد وجد أنه بعد حقن حيوان التجارب بالهرمون المنشط للغدة الدرقية تظهر قطيرات غروية عند القطب العلوى للخلية تفرز تماما فى تجويف حويصلات الغدة الدرقية ويتم خروج هذه المواد بعد ذلك عن طريق تمزق غشاء الجزء العلوى للخلية الذى يواجه تجويف الحويصلات .

## ٢ - دراسات كيميائية حيوية للدورة الإفرازية

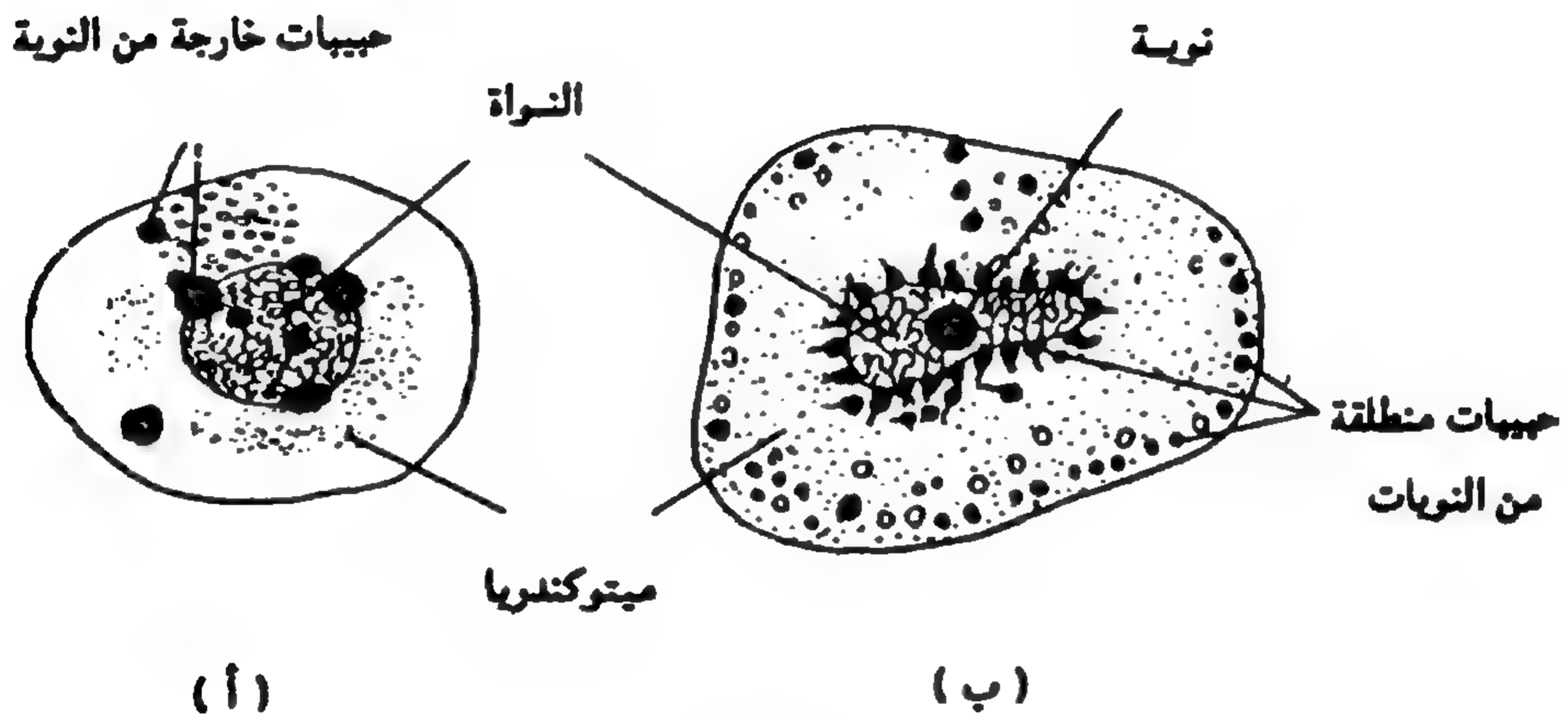
Biochemical studies of secretory cycle

لقد أمكن التوصل إلى نتائج جيدة لعملية الإفراز فى الخلية وذلك باستعمال طرق القياس الحيوى ودراسة المكونات الكيميائية للخلية بواسطة الميكروسكوب وتمكن الدراسة بواسطة هذه الطرق من حساب عدد حبيبات الإفراز فى الخلايا البنكرياسية بعد حقن الحيوان بمادة البيلوكارين *Pilocarpine* والتى تؤثر على الخلايا وتثير إفرازاتها . ولقد أمكن رسم منحنيات تبين مقارنة بين معدل تخليق وتكوين حبيبات الإفراز بتركيد الكربوكسى بيتيديز *Carboxy peptidase* ( وهو إنزيم يوجد فى أنسجة البنكرياس نفسه ) وقد وجد أن الكربوكسى بيتيديز قد وصل إلى أدنى تركيز بعد ثلاث ساعات من وقت حقن البيلوكارين وتعود هذه المادة إلى تركيزها الأولى بعد ٩ ساعات ، أما التغير الذى يحدث فى تركيز ثنائى البيبتيدات فإنه كان عكس ذلك تماما . وقد وجد أيضا أن معدلات إعادة تكوين وإنتاج بعض الإنزيمات مثل الأميليز ، البروتيز ، الليباز ، والكربوكسى بيتيديز تتم بسرعة كبيرة بعد خروج مواد الإفراز من الخلايا . وبعد حوالى ٣٠ دقيقة من التأثير على خلايا البنكرياس بمادة البيلوكارين تتكون بروتينات مميزة لهذه الإنزيمات تصل إلى مستوى ثابت بعد حوالى ٦ ساعات .

## ٣ - دراسات بالنظائر المشعة Studies with isotopes

تستخدم المواد المشعة للدراسة عملية إفراز الخلية بعد حقن حيوان التجارب بالجليسين المشع  $^{14}\text{C}$ -glycine أو الميثونين المشع  $^{33}\text{S}$ -Methionine فإن إثارة غدة البنكرياس يوضع النشاط الإشعاعى للعصارة البنكرياسية الذى يزداد بسرعة ويصل إلى القمة بين الساعة الثانية والخامسة عقب الحقن وذلك لأن الأحماض الأمينية المشعة تخترق الخلية بسرعة عالية تصل إلى ذروتها بعد ١٠ دقائق ، كما وإن خروج المواد الإفرازية من الخلية يكون بسرعة عالية جدا . وتدل هذه النتائج على أن عملية الإفراز لها علاقة وطيدة بالنشاطات الإنزيمية اللازمة لتخليق

النيوكليوبروتين ( ر ن ب ) RNP . وقد وجد أن الأحماض الأمينية المشعة تندمج في الانسجة الغنية بهذه الحبيبات . وتتحول إلى مواد بروتينية كما هو الحال في الخلايا البنكرياسية . وفي هذا النوع من الخلايا توجد حبيبات ال ( ر ن ب ) RNP مرتبطة بغشاء الشبكة الإندوبلازمية . أما حبيبات ال ( ر ن ب ) RNP التي توجد حرة في السيتوبلازم فلها قدرة قليلة على تحويل الأحماض الأمينية إلى بروتينات التي تتكون بصورة أبطأ مما يحدث في الحالة الأولى . وتبعاً لهذه النتائج فإن تكوين إنزيمات بروتينية داخل الخلايا البنكرياسية يتم أولاً على حبيبات ال ( ر ن ب ) RNP ( الريبوسومات ) المتحدة بأغشية الشبكة الإندوبلازمية ثم ينتقل البروتين الجديد المتكون إلى صهاريج الشبكة الإندوبلازمية ثم بعد ذلك عن طريق هذه الشبكة إلى جهاز جولجي . وهناك تتكون وتخزن في صورة حبيبات الإفراز الأولية pro-enzyme وأخيراً تتحرر هذه الحبيبات وتفرز في تجويف الجيوب البنكرياسية .



(شكل ١٣٤)

(ب) خلية بيمضية توضح خروج الإفرازات

(أ) خلية من أمهات المنيات

#### مصدر مادة الإفراز Origin of secretion material

هناك عدة نظريات افترضها بعض المشتغلين في هذا المجال لشرح وإيضاح أصل تكوين المادة الإفرازية يمكن تلخيصها فيما يلي :



## ١ - نظرية النواة Nuclear theory

هذه النظرية من أقدم النظريات التي تشرح أصل تكوين حبيبات الإفراز ، وتبعاً لها فإن النواة هي المسئولة عن تكوين حبيبات الإفراز كما أن بعض الدارسين قد اقترح أن النوية تلعب هي الأخرى دوراً في تكوين حبيبات الإفراز . ويذكر هنا أيضاً دور النواة والنوية في تكوين الجزيئات المختلفة للحامض النووي ح- ر ، ن بالجينات الموجودة على الحامض النووي ح - د - ن DNA للكروموسومات وكذلك دور النوية في تخليق وتكوين الريبوسومات داخل الخلايا الحية . وأيضاً عديد من الريبوسومات كمراكز لإنتاج البروتينات المختلفة .

## ٢ - نظرية جهاز جولجي Golgi apparatus theory

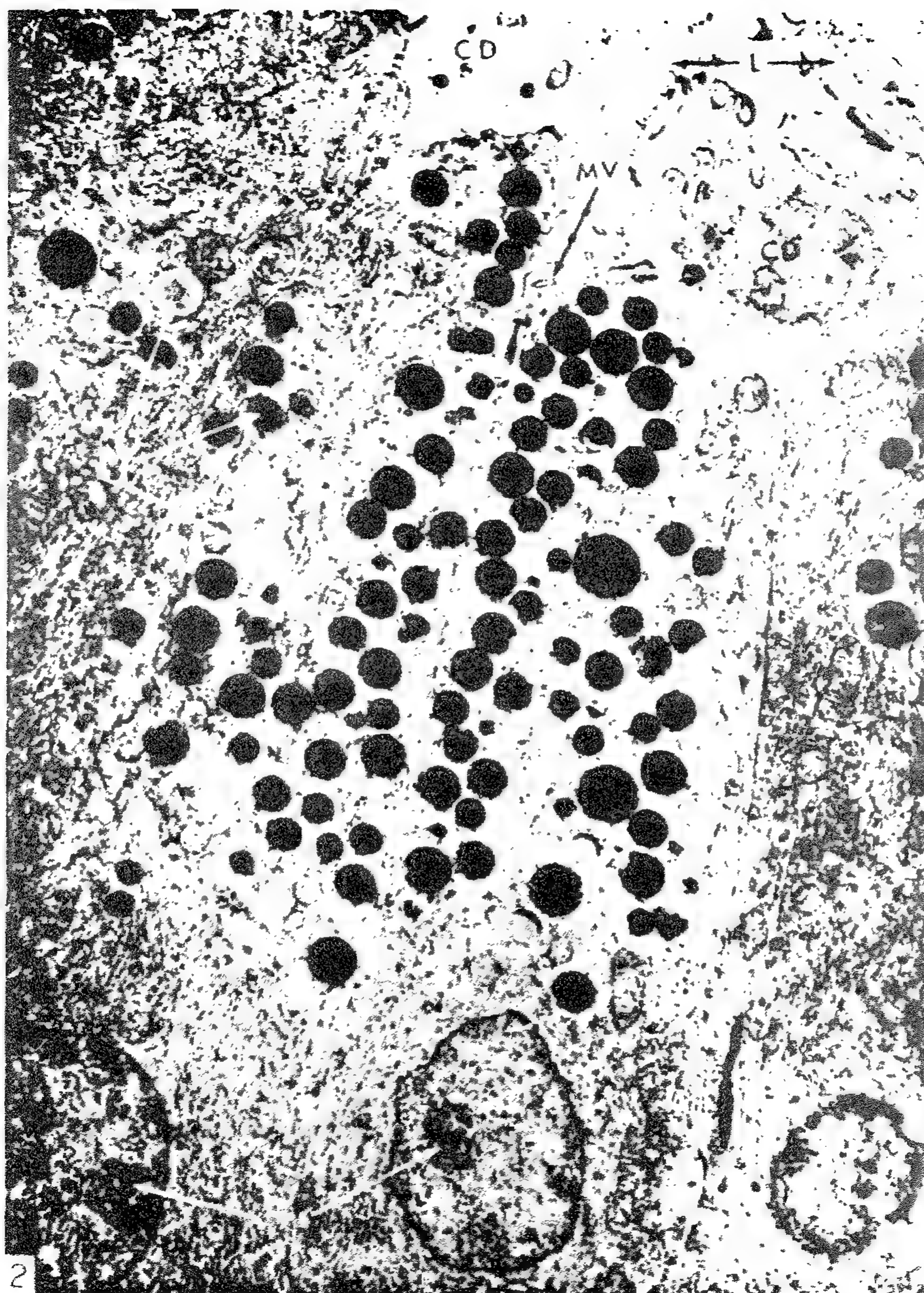
يعتقد العديد من العلماء بأن جهاز جولجي يلعب دوراً رئيسياً في النشاط الإفرازي للخلايا وهذا الدور يمكن استنتاجه من الأمثلة الآتية :

أ - وجد أن عناصر جهاز جولجي تتزايد في العدد وتتضخم أثناء عملية الإفراز في كثير من الخلايا المفرزة مثل الخلايا الكأسية وخلايا الغدد اللعابية وخلايا البنكرياس ذات الإفراز الخارجى . وتكبد وتنتشر هذه العناصر في الجزء العلوى للخلايا والذي يمتلئ بحبيبات الإفراز . كما تشاهد تغيرات مماثلة في خلايا الغدة جارالدرقية وخلايا الكبد والخلايا المفرزة لمادة العاج أثناء النشاط الإفرازي لهذه الخلايا .

ب- تعتبر خلايا غدد الرحم Uterus صورة نموذجية توضح علاقة جهاز جولجي بالنشاط الإفرازي للخلايا . ففي هذه الحالة تشاهد المادة الإفرازية على هيئة كرات دائرية أو بيضاوية . ترابط شديد مع جهاز جولجي .

ج - في حالة استعمال حيوانات ثديية صائمة أو جائعة يشاهد جهاز جولجي في الخلايا الطلائية المفرزة والخلايا البيسينية على هيئة شبكة كثيفة قريبة في أعلى النواة . ولكن بعد تغذية الحيوانات الصائمة هذه يلاحظ إنتشار عناصر جهاز جولجي وتظهر شبكة أكثر اتساعاً . كما تظهر في نفس الوقت بعض الحبيبات في منطقة جهاز جولجي ، وتتزايد هذه الحبيبات إلى أن تحتل معظم القطب الإفرازي للخلية وأخيراً تنذف أو تطرد هذه الحبيبات خارج الخلية .



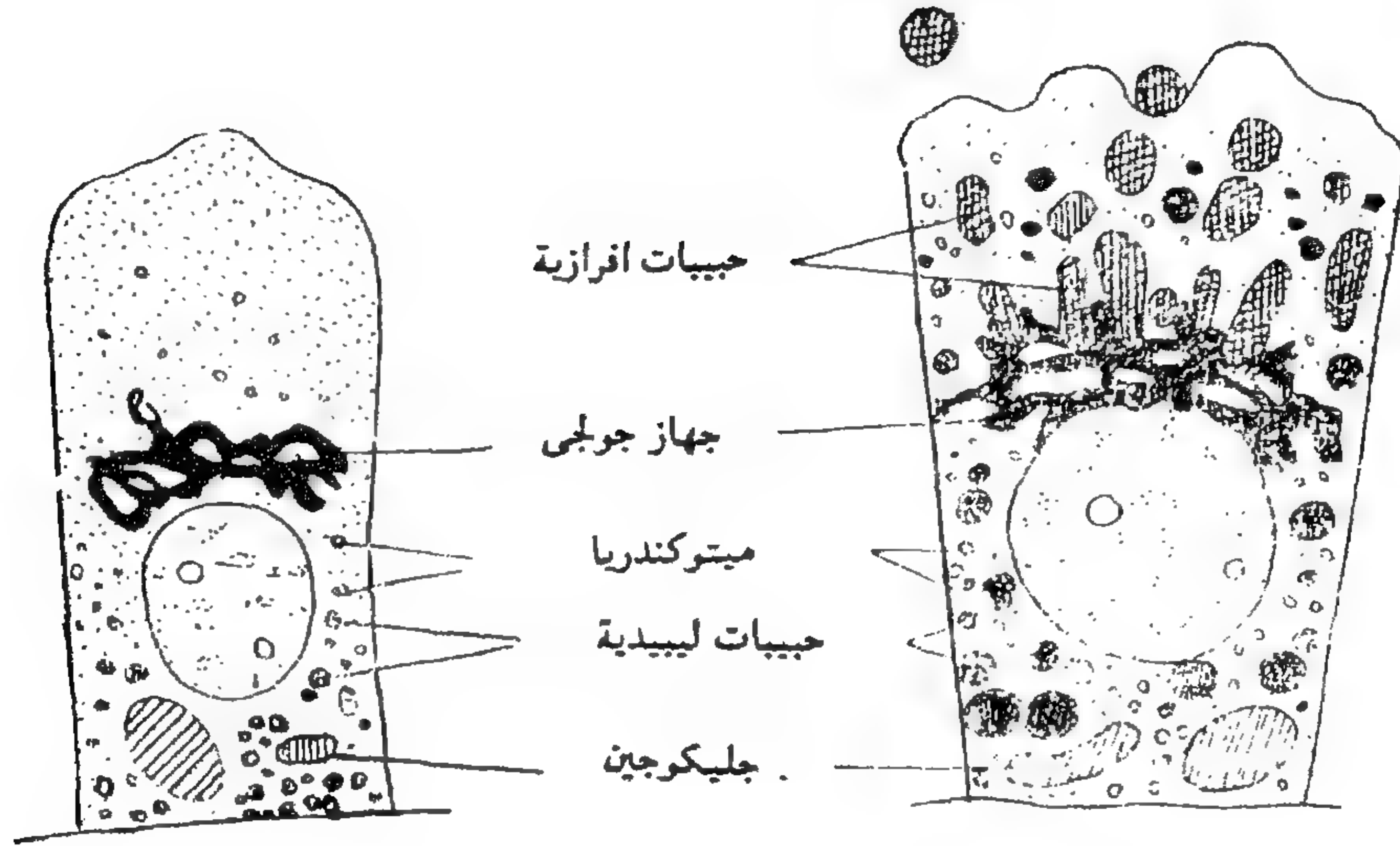


(شكل: ١٣) صورة بالميكروسكوب الالكترونى لتوضيح مراحل تكوين حبيبات الزيموجين فى خلية بنكرياسية



د - تشاهد حبيبات حامض الإسكوريك في منطقة جهاز جولجي مما يدل على أن هذا الجهاز يلعب دورا في تكوين حامض الاسكوريك بالخلية .

هـ - وفي الخلايا العصبية للرخويات وجد أن الحبيبات الدهنية المعروفة باسم ( الليبوفوسين ) Lipofuscin تفرز كنتيجة لنشاط جهاز جولجي حيث تكون هذه الحبيبات أولا ملاصقة لدكيتوسومات جولجي ثم بعد ذلك تنتشر وتتحرك في سيتوبلازم الخلية .



(شكل ١٣٦)

الدورة الإفرازية في خلية من بطانة الرحم

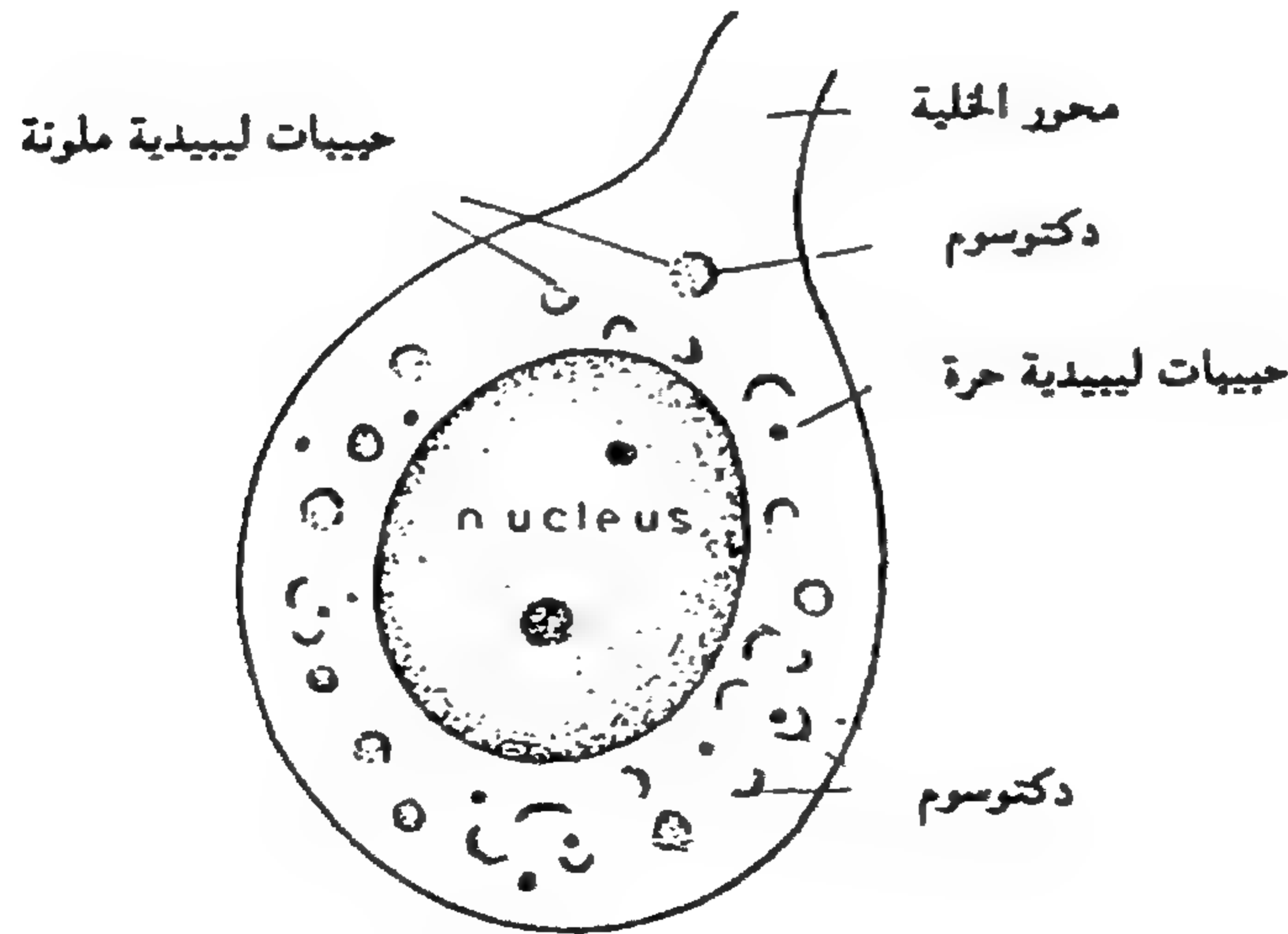
#### أهمية حبيبات الإفراز Significance of the secretion granules

من الحقائق الإكيدة الآن أن الحبيبات التي تشاهد في معظم خلايا الغدد تمثل نواتج عملية الإفراز . ويعتقد أن الحبيبات التي تشاهد في خلايا البنكرياس ذات الإفراز الخارجى تحتوى على العديد من الإنزيمات في صورة إنزيمات أولية pro-enzymes توجد في العصارة البنكرياسية . كما تحتوى حبيبات الخلايا البسيسينية في المعدة على انزيم البيسين . وقد ثبت أن بعض نواتج عملية الإفراز توجد داخل الخلايا على صورة حبيبات أو قطيرات ؛ فمثلا يعد Pilocarpine وجدت علاقة تربط محتوى الحبيبات الإفرازية في الخلايا البنكرياسية وإنزيم

الكاربوكسى بيتيديز Carboxypeptidase وتدل هذه النتيجة على وجود هذا الإنزيم فى حبيبات الإفراز .

وهناك دراسات مجهرية كثيرة توضح العلاقة بين التركيب الدقيق للسيتوبلازم ونواتج الإفراز . كما أن استعمال الطرق السيتوكيميائية مع فحص النسيج بالميكروسكوب الالىكترونى يبين الكثير عن العلاقة بين التركيب البنائى والوظيفة لعضيات الخلية المختلفة . كما أنه يعتقد أن الريبوسومات تلعب دورا أساسيا فى عملية تكوين البروتينات داخل الخلايا وأن جهاز جولجى هو المكان الذى تتضح فيه نواتج الإفراز .

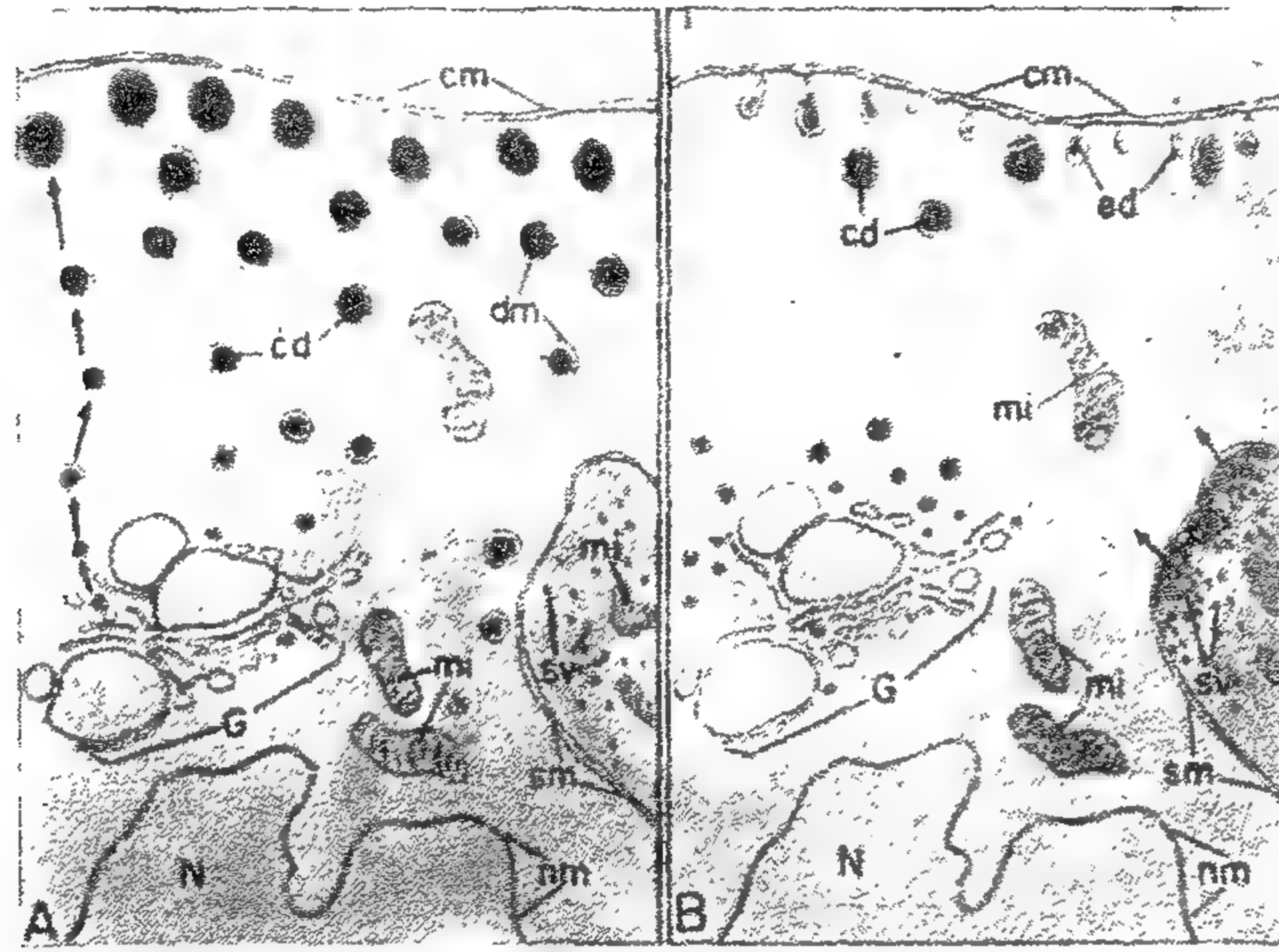
ولقد قام العالم بالى فى عام ١٩٥٨ (Palay, 1958) بالعديد من الدراسات على الغدد مستخدما الميكروسكوب الالىكترونى وكانت معظم دراساته على خلايا غدة الكظر التى تقوم بإنتاج الكاتيكول أمين Catecholamine ، والأدرينالين والنورادرينالين وتتميز مادة الكاتيكول أمين بخاصية إختزال رابع اكسيد الأوزميوم ، وبذلك يمكن الكشف عنها فى النسيج حتى عند وجودها بكميات قليلة . وتظهر فى هذه الحالة قطيرات إفرازية صغيرة فى السيتوبلازم بجانب غشاء النواة كما تظهر حويصلات صغيرة من جهاز جولجى مليئة بمادة كثيفة من



(شكل ١٣٧)

صورة توضح الدور الذى يقوم به جهاز جولجى ( الديكتوسومات ) فى تكوين القطرات الدهنية الملونة .

الكاتيكول أمين وتترايد هذه الحويصلات فى الغدد وتكبر فى الحجم ثم تهاجر إلى الحواف الداخلية لغشاء الخلية . والمداد العصبى لغدة الكهظر المستعملة فى هذه الدراسة عبارة عن نهايات عصبية من العصب الحشوى ، وتحتوى هذه النهايات العصبية على حويصلات التشابك العصبى Synaptic vesicles وتستجيب النهايات العصبية للمؤثرات بإفراز مادة الاستيل كولين التى تعمل على تنشيط إفراز الكاتيكول أمين . ويؤدى التأثير الكهربائى على العصب الحشوى إلى إفرازات عالية من الكاتيكول أمين ، وزيادة نشاط نهايات الاعصاب . ويستدل على ذلك من زيادة عدد حويصلات التشابك العصبى ، وزيادة كمية الأستيل كولين المفرزة .



(الشكل ١٣٨)

الدورة الإفرازية فى خلايا كرومافينية فى الغدة الكظرية

( ب ) خلية مفرزة

( أ ) خلية ساكنة

ويتم إخراج نواتج الإفراز من الخلايا عن طريق إتحاد قطيرات الإفراز مع الغشاء الخارجى للخلية . وفى هذه الحالة يزداد حجم القطيرات ويتحد غشاؤها مع غشاء الخلية ثم تقذف بما فى داخلها من مادة داكنة كثيفة إلى خارج الخلية ، وتتكون بعد ذلك تلقائيا قطيرات إفرازية جديدة فى جهاز جولجى . وبهذه الطريقة تتكون مادة الأستيل كولين ، الإدرينالين والنورادرينالين فى الخلية . وتفرز هذه المواد استجابة للمؤثرات المختلفة من خلال الغشاء الخارجى للخلية . وقد وجد أن إفراز الكاتيكول أمين يتم فى وجود أيونات الكالسيوم .





## الفصل الرابع والعشرون :

### شيخوخة وموت الخلايا Senility and death of cells

تمر الخلايا عادة بمراحل مختلفة من التميز تصل خلالها إلى مرحلة تتكيف على أداء الوظائف الخاصة بها . ويتبع مرحلة التميز هذه مرحلة الشيخوخة والتي تنتهى بموت الخلايا . وفى الأفراد البالغين تظل خلايا معينة بدون تمييز وتحتفظ بقدرتها على التكاثر ولكن معظم انسجة الجسم تمر بمرحلة التمييز التى تليها تغيرات الشيخوخة . وفى هذه الحالة تتبع الانسجة واحدا من الطرز الآتية :

#### ١ - خلايا متغيرة Labile cells

فترة حياة هذه الخلايا قصيرة وتظهر الشيخوخة مباشرة بعد بلوغها مرحلة متقدمة من التمييز الخلوى ، فخلايا الدم الحمراء مثلا والخلايا البيضاء المحيية تتكسر وتتحطم باستمرار ويحل محلها خلايا جديدة ناتجة من انقسام وتكاثر خلايا نخاع العظام غير المميزة . وإضافة إلى ذلك هناك تجديد مستمر للخلايا الطلائية فى طبقة البشرة وقرنية العين وبعض الغدد والأغشية المخاطية . ويعتمد عمر هذه الخلايا على الكثير من العوامل بعضها ميكانيكى والآخر كيميائى .

#### ٢ - خلايا مستقرة Stable cells

تحافظ هذه الخلايا على قدرتها على التضاعف أى الإزدياد فى العدد حتى نهاية عمر الفرد . ومن أمثلة ذلك الخلايا البرانشيمية للكبد والبنكرياس والغدد اللعابية والكلية والغدة الدرقية والغدة جارالدرقية والعضلات الملساء .

#### ٣ - خلايا معمرة Perenniol cells

تمر هذه الخلايا بمرحلة تمييز مبكرة أثناء التكوين الجنينى ، يقل ويتوقف اثنائها تضاعف وازدياد عدد هذه الخلايا . وعند الوصول الى هذه الحالة يلاحظ أن عدد الخلايا المتميزة لا يزداد فى الحجم . ومثال هذا النوع من الخلايا الياف العضلات المخططة والخلايا العصبية التى تظهر تغيرات الشيخوخة مع النمو ولكنها تبقى إلى أن يموت الحيوان .

#### ٤ - خلايا جنينية Embryonic cells

يوجد هذا النوع من الخلايا فى الأطوار الأولية للجنين قبل تكوين طبقاته الجرثومية الثلاث وقد وجدت هذه الخلايا فى كتلة الخلايا الداخلية لبلاستولة الفأر والجرذ . وهذه الخلايا سرعان ما تتكون ثم بعد عدة ساعات من تكوينها تظهر تغيرات الشيخوخة فى السيتوبلازم والنواة ثم تموت وتبلع بواسطة زميلاتها المجاورة لها .

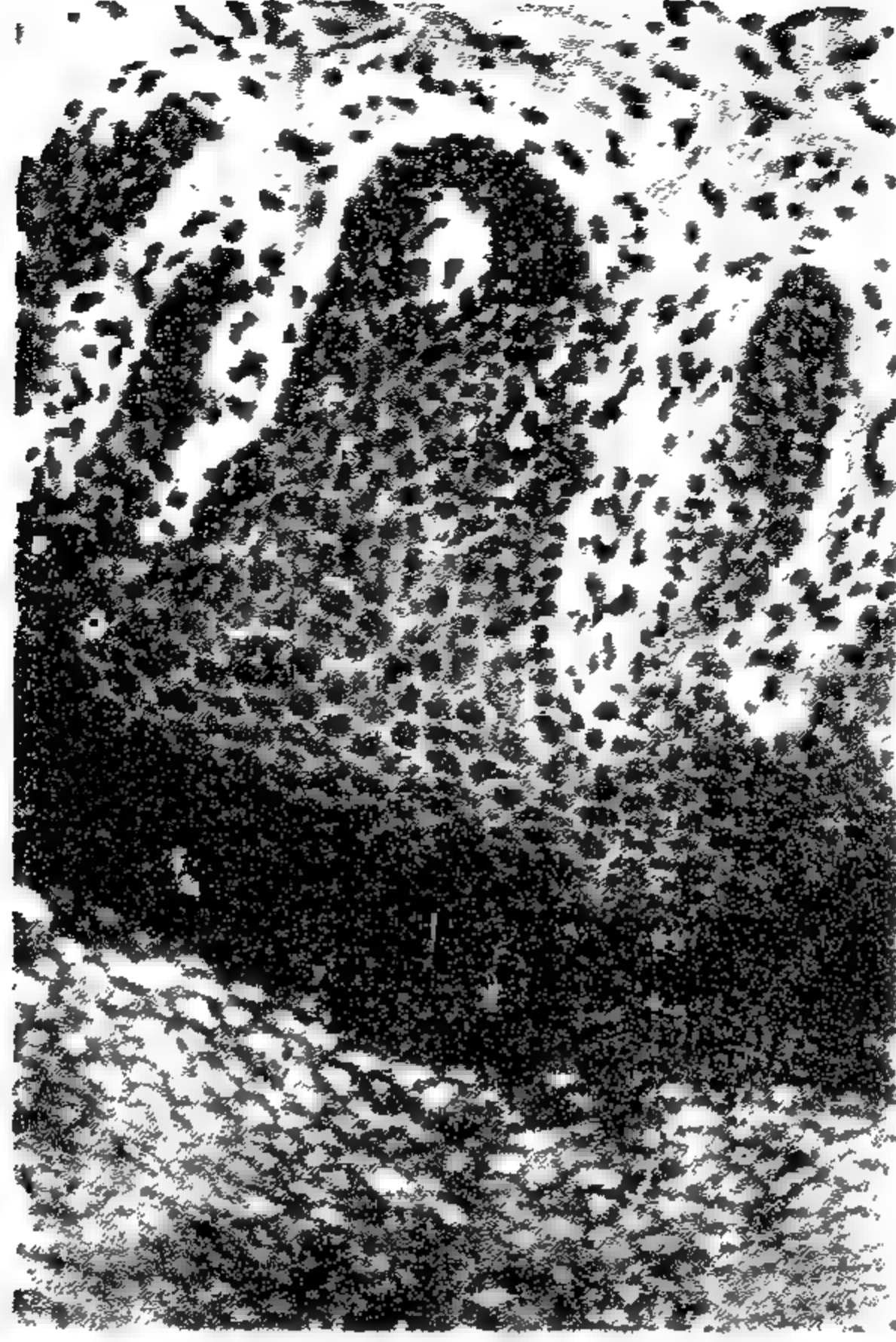
ولقد تمكن بعض العلماء (Lebland and walker, 1956) عن طريق استعمال النظائر المشعة من دراسة عملية تجديد الخلايا وقياس سرعة التجديد وحساب عمر الخلايا (وتعتمد هذه الطريقة أساسا على تكوين الحامض النووى الريبوزى الذى يسبق إنقسام الخلايا) .

#### تغيرات الشيخوخة Senility changes

- تغيرات خلوية اثناء الشيخوخة Cellular changes during senility  
يصاحب شيخوخة الخلايا عادة بعض التغيرات السيتولوجية والسيتوكيميائية . والتغير الواضح هو تجمع صبغيات الإنهاك أو الإجهاد والتي تعرف أحيانا بصبغيات " البلى والتمزق Wear and tear pigments والتي توجد عادة فى الخلايا العصبية وبدرجة أقل فى خلايا الكبد والكلية والخصية والمبيض والغدة الدرقية . ويعتقد كابلمان ١٩٥١ أن صبغيات الشيخوخة تنتج من أكسدة الدهون غير المشبعة . ولكن هذا رأى لم ينل القبول من موسى والبنهاوى ١٩٥٣ ، ١٩٥٥ . اللذان أظهر أن حبيبات الشيخوخة تتكون فى جهاز جولجى ثم تفرز حرة فى سيتوبلازم الخلية ، وبعد ذلك تهاجر إلى محور الخلية العصبية حيث تكون كتلة داكنة فى الخلايا المسنة .

وقد توصل مورى وستاوت ١٩٤٧ (Murray & Stout'; 1947) إلى نتائج مشابهة لذلك فى الخلايا العصبية السمبتاوية واعتبر هذا على أنه علامة على قرب موت هذه الخلايا . وهذه الحبيبات الصبغية لا تذوب فى مذيبات الدهون ولكنها تصبغ بصبغة السودان الأسود Sudan black الخاصة بالمواد الدهنية . ويؤخذ وجود الحبيبات الصبغية هذه كعلامة من علامات شيخوخة الخلايا العصبية والرأى السائد أن تجمع الصبغيات فى الخلايا المسنة يرجع إلى الصعوبة المتصاعدة للتخلص من التنواتج قليلة الذوبان .

ويعتبر هذا علامة هامة من علامات شيخوخة الخلايا . ولقد شوهدت تغييرات أخرى فى هذا الصدد منها تجمع قطيرات دهنية فى السيتوبلازم ونقص وتفتت أجسام نسل ، وحدوث نقص واضح فى أحجام الخلايا .



(شكل ١٣٩)

قطاع رأسى فى جلد إنسان

- أ - (أ) المنطقة الانتهائية (الجرثومية)      ب - (ب) منطقة التمييز  
ج - المنطقة المحبة      د - منطقة موت الخلايا      هـ - منطقة التحول الى كيراتينين

وقد قام عدد كبير من العلماء بدراسة تغيرات الشيخوخة خارج جسم الحيوان فى مزارع الأنسجة . وقد وجد أن الخلايا التى تنمو فى مزارع الأنسجة تمر بمراحل عديدة تشبه مثيلاتها التى تنمو داخل الجسم ولكنها تحدث بمعدلات أسرع . وتشمل هذه المراحل زيادة فى كتلة الخلايا والتمييز والشيخوخة ثم الموت والتحلل ويصحب هذه المراحل عادة ظهور تجويفات وقطيرات دهنية فى السيتوبلازم قبل تحلل وتلاشى الخلايا .

وأثناء الشيخوخة تنكمش نواة الخلية وتزداد قابليتها للأصباغ ، ثم تتحلل المادة الكروماتينية Chromatolysis ويختفى التركيب البنائى المعروف للنواة . ويتبع ذلك موت



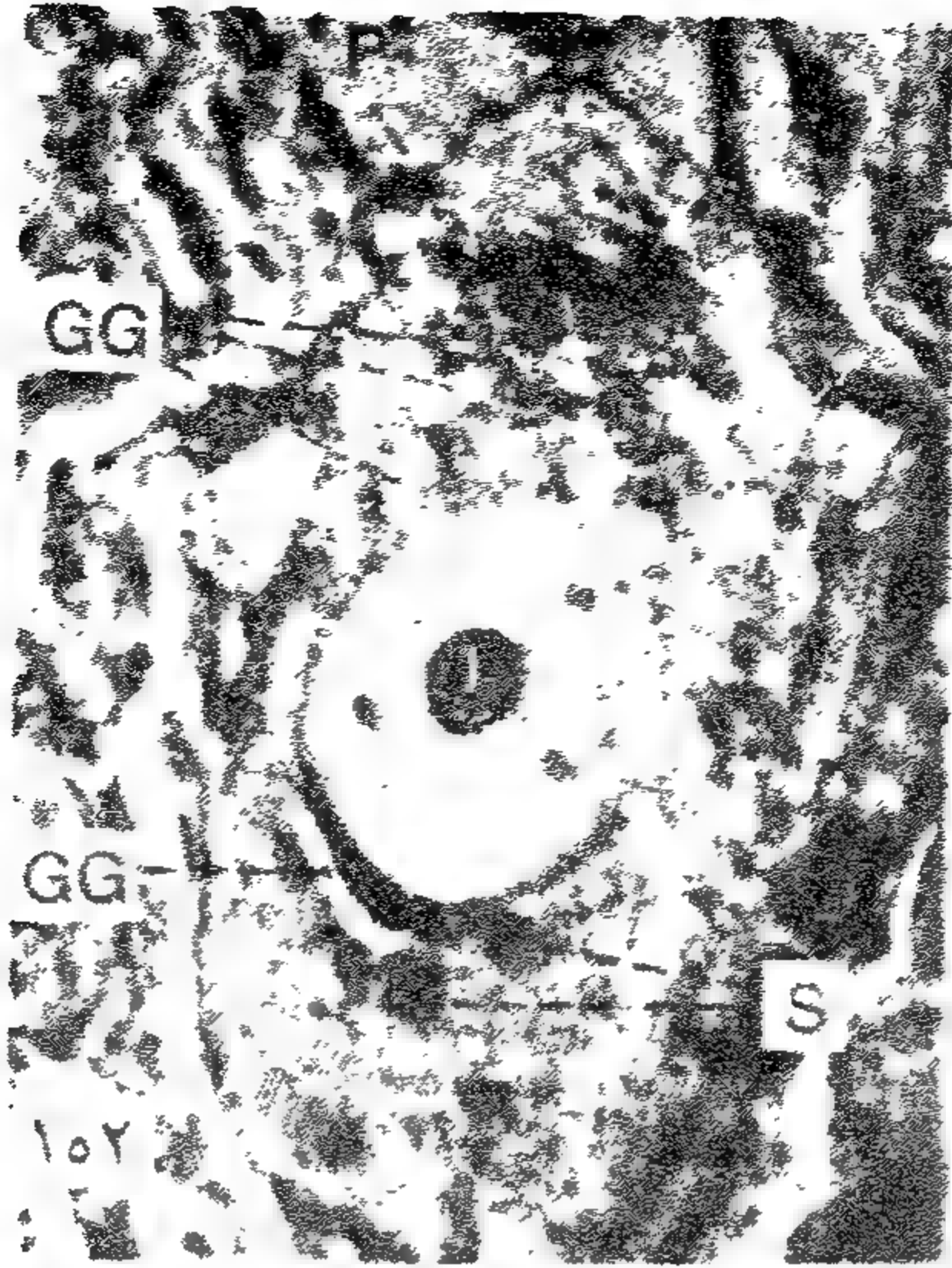
الخلية . وفى الخلايا العصبية يصحب الشيخوخة تقلص الحدود الخارجية للخلية وفقدان شفافية العصير النوى ونقص كبير فى مادة نسل ويحتوى حامض الأسكوربيك فى الخلية وتفتت جهاز جولجى وتكوين حبيبات أو صبغيات الشيخوخة . كما لوحظ تفسخ الليفات العصبية . وبالإضافة إلى ذلك فإن الجليكوزين فى خلايا العقد العصبية للحبل الشوكى يحل محل الميوكوبروتين Mucoprotein وفى حالة الشيخوخة يبدو التليف أيضا كظاهرة شائعة كما هو الحال فى الغدة الدرقية . وفى حالة الكبد تظهر أنوية عملاقة بالخلايا giant nuclei ، كما تشاهد محتويات غير مميزة داخل النواة نفسها .

ويصاحب هذه التغيرات الخلوية بعض التغيرات فى جسم الحيوان كله والتي لا يمكن فصلها عن التغيرات الخلوية . فتحدث زيادة فى محتوى الكالسيوم فى الدم وكثير من الأنسجة بما فيها العظام وقد وجد الباحثون زيادة محتوى الكالسيوم فى سيتوبلازم الخلايا البنائية ، وبويضات قنفذ البحر وبعض الأنسجة الأخرى . وهذه التغيرات قد ترجع إلى النقص فى نفاذية الخلية . وبالرغم من ذلك فقد وجد أن نقص الكالسيوم يطيل من العمر وبناء على ذلك فقد اقترح بأن الكالسيوم يرتبط بالريبونيكليوبروتين Ribonucleoprotein على سطح الخلية . ولقد وجد أيضا أن عملية الشيخوخة يصحبها نقص فى الماغنسيوم وزيادة فى الحديد والبتاسيوم . أما بالنسبة للمواد العضوية فى الخلية فقد وجدت زيادة فى الكولسترول والبروتينات غير الذائبة . ونقصا فى كل من إنزيمات الفوسفاتيز الحامضى والفوسفاتيز القاعدى والاستيز مع تقدم العمر ، كما لوحظ أيضا نقص فى معامل تنفس الانسجة وتثبيط تخليق البروتينات فى الأنسجة .

#### أسباب الشيخوخة Causes of senility

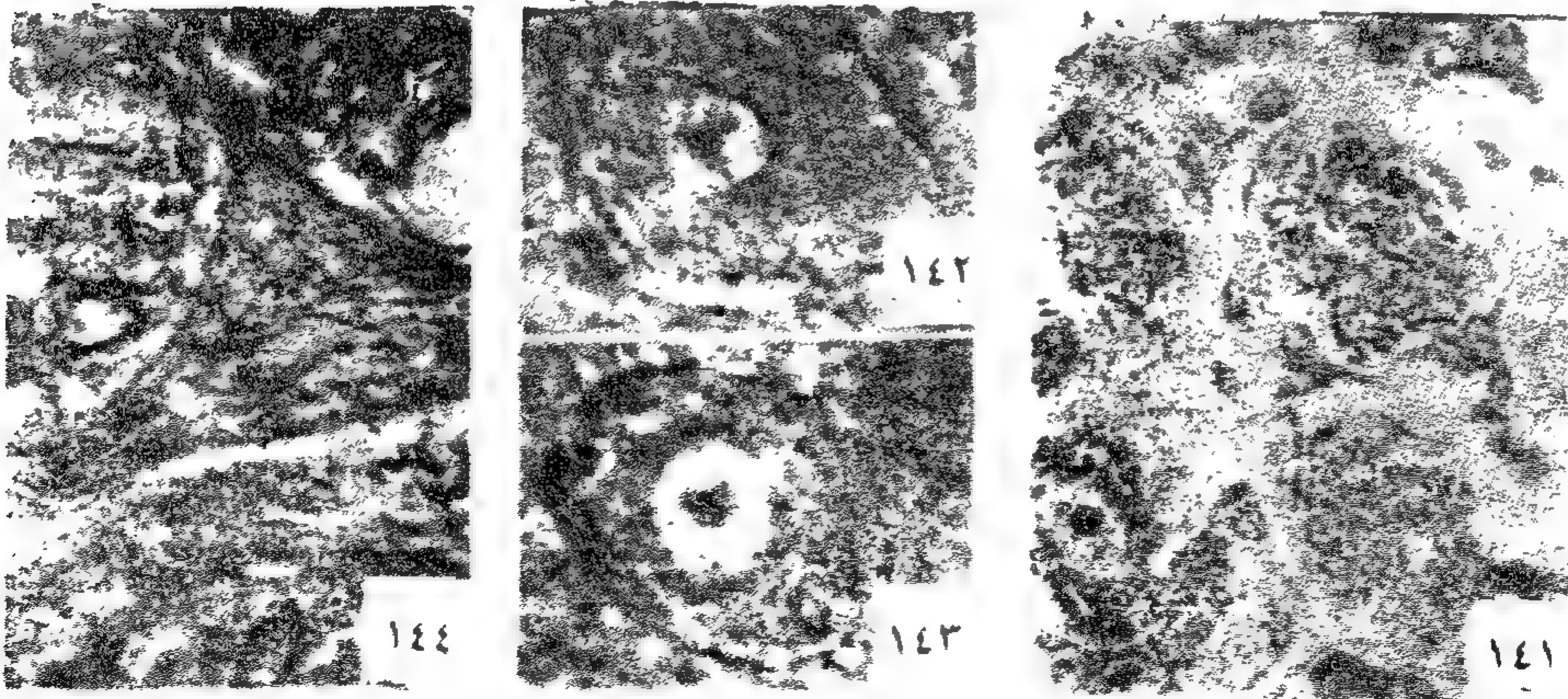
طرح العلماء العديد من الآراء لشرح اسباب شيخوخة الخلايا والتي يمكن تلخيصها فيما يلى :

١ - يرجع أحد الآراء سبب الشيخوخة إلى حدوث تغيرات فى الحالة الغروية للبروتوبلازم فيحدث نقص فى درجة الإنتشار مع فقدان الماء والشحنات الكهربائية . وفى نفس الوقت تزداد المواد البروتينية المقاومة للإنزيمات لنقص المحتوى المائى . وتقارن الطبقة الطلائية المصفقة للجلد يمثل هذه الحالة من الشيخوخة .



(شكل ١٤٠)

خلية عصبية في حيوان مسن ( شيخوخة مبكرة ) بميكروسكوب التضاد ( التباين )  
 GG = صورة سلبية لجهاز جولجي ، P = حبيبات الشيخوخة مكلسة في محور الخلية العصبية  
 S قطرات دهنية



(شكل ١٤١) تناقص أجسام نسل في خلايا عصبية مسنة .  
 (شكل ١٤٢-١٤٣) اختفاء واضح لحبيبات حامض الاسكورويك في الخلايا العصبية في مراحل الشيخوخة .  
 (شكل ١٤٤) تهدم اللييفات العصبية في خلية في الحبل الشوكي في مرحلة الشيخوخة



٢ - قد يرجع سبب الشيخوخة إلى تجمع بقايا المواد المتحللة وتكدس الغرويات فى السيتوبلازم وكذا نقص نفاذية الخلية بما يؤدي إلى اضطراب عملية الايض فى الخلية .

٣ - كما يرى بعض العلماء أن الوسط الذى تعيش فيه الخلايا له أهمية كبير فى ذلك المجال ؛ فالتغيرات التى تحدث فى تكوين هذا الوسط قد تؤثر على النمو وتؤدي إلى الشيخوخة . ويعتقد العالم كودرى Codry أن الشيخوخة تحدث نتيجة لتغيرات فى الوسط الداخلى الذى تعيش فيه الخلايا حيث تحدث العمليات المنظمة التى تحافظ على تماثل الدم والتى تتغير بتقدم السن كما تتغير أيضا سوائل أنسجة الجسم المختلفة .

٤ - ويعتقد بعض العلماء بأن التنظيم الهرمونى لأنسجة الجسم يلعب بورا كبيرا فى شيخومة الخلايا . وتبعاً لهذا المفهوم فإن الشيخوخة ترجع إلى حدوث نقص فى تخليق وتكوين هرمونات التحكم كهرمونات الغدة النخامية ( مثل هرمون النمو ) وهرمونات الخصيات والمبايض . ويرجع ذلك إلى أن تكوين ووظيفة العديد من الفيتامينات والهرمونات ومساعدات الإنزيم تعتمد أساساً على هرمونات التحكم هذه .

٥ - أعزيت شيخوخة الخلايا التى شوهدت فى بعض الأنسجة إلى بعض العوامل الخارجية مثل تجمع نواتج الأيض ونقص الغذاء . كما يعتقد بعض العلماء بأن الوسط الداخلى يحتوى على بعض العوامل التى تؤثر على حياة الخلايا بمزارع الأنسجة .

٦ - يرى بعض العلماء الدارسين لظاهرة الشيخوخة أنها ترجع إلى عدة عوامل داخل الخلية نفسها . وهذا يعنى أن بعض الخلايا لا تعمل فقط على تمييز شكلها ووظيفتها ولكنها تحمل أيضا بداخلها ما يعمل على تحديد فترة حياتها .

ويستنتج مما سبق بأن سبب شيخوخة الخلايا هو عدة عوامل ربما تكون داخلية أو خارجية ولهذه العوامل القدرة على تحديد عمر الخلية .

#### موت الخلايا Death of cells

تؤدي شيخوخة الخلايا عادة إلى هدم عملية الحياة Catabiosis وبالتالي إلى موت الخلايا . وهناك الكثير ما زال غير معروف عن التغيرات الوظيفية الخلوية التى تحدث موت

الخلايا وتعرف عملية موت الخلايا هذه على أنها توقف لا رجعة فيه للظواهر الحيوية . وفى بعض الحالات يتم موت الخلايا بسرعة بواسطة عدة عوامل تعمل على التجلط الفورى للبروتوبلازم كما هو الحال عند تثبيت نسيج أو عند موت الخلايا بارتفاع درجة الحرارة وخلاف ذلك يتم أيضا الأنشطة الخلوية تدريجيا وقد تتعرض الخلية لتلف غير قابل للإصلاح ولكن قد تستمر بعض وظائفها لفترة معينة . وعند طحن نسيج معين فإنه يلاحظ استمرار بعض مظاهر الأيض كاستهلاك الأكسجين والتخمر وتحليل الجليكوجين لبعض الوقت ولكن العمليات تتحدد بسرعة مع الوقت إلى أن تختفى كلية .

ومن مظاهر موت الخلايا فقدان التكاثر والنمو والحركة . كما يلاحظ زيادة الحموضة فى الخلايا المثبتة مما يدل على حدوث عمليات أكسدة واختزال معينة ويكون امتصاص الخلايا للاشعة البنفسجية أقوى من الخلايا الميتة ويلاحظ أن الصبغات الحيوية مثل الأحمر المتعادل وازرق الميثيلين واليانس الأخضر تنتشر فى سيتوبلازم وأنوية الخلايا الميتة وفى مزارع الأنسجة . ونلاحظ التغيرات الآتية كمظاهر لموت الخلايا : انكماش الأقدام الكاذبة وتكور الخلايا ، وذوبان واختفاء الميتوكوندريا وانتشار الصبغات الحيوانية فى السيتوبلازم والنواة وتجلط وانكماش النواة .

#### تغيرات بعد الموت Poat-mortem changes

يجب أن يكون معلوما أن الموت السريع للخلايا الذى ينتج من تأثير بعض العوامل مثل المثبتات التى توقف أنشطة الإنزيمات أيضا لا تحدث تغيرات ما بعد الموت والتغيرات التى تحدث أثناء عملية الموت البطئ المتدرج للخلايا توصف بأنها " انتهاء الحياة " .

ولا تعتبر تغيرات " ما بعد الموت " وبعض تغيرات الموت البطئ ثابتة فى الأنواع المختلفة من الخلايا ، ولكن كقاعدة عامة فإنها تشمل نقصا فى لزوجة الخلية وزيادة فى سيولة السيتوبلازم . وفى بعض الأحيان تزداد اللزوجة ولكن يتجلط السيتوبلازم . وفى الحالة الأولى يكون موت الخلايا نتيجة سيولة السيتوبلازم . أما فى الحالة الثانية فيكون نتيجة لتجلط وقاسك السيتوبلازم .

وعادة ما يسبق موت الخلايا فترة تتميز بحدوث تغيرات فى الأيض المنتظم وتغيرات



اضمحلالية مختلفة ؛ فتظهر الحبيبات البروتينية فى السيتوبلازم والتي تعرف باسم " الانتفاخات المعتمة " cloudy swelling يسبق هذا تجمع الاحماض وأنخفاض الأس الأيدروجينى للسيتوبلازم ويتبع هذه الظاهرة عادة إمتصاص شديد للماء . وفى النهاية يحدث تحلل وذوبان للخلية وتعرض الميتوكوندريا للتفتت ثم إنفاخ هذه الحبيبات .

وتظهر فى النواة أيضا تغيرات " ما بعد الموت " ولكن عموما فإن التركيب البنائى للنواة وقابليتها للإصباغ تقاوم التحلل الذاتى لمدة طويلة ، وفى كثير من الأحيان تتزايد قابلية النواة للإصباغ وعادة ما يصحب تحلل النواة انكماش المادة الكروماتينية واختفاء تفاصيل التركيب البنائى لها . وتوضح دراسة الخلية بطرق القياسات الضوئية cytophotometric أن الزيادة فى قاعدية النواة " القلوية " لا تتناسب مع المادة الممتصة ولكن يرجع إلى النقص فى حجم النواة . ويلاحظ فى الخلايا الميتة نقص المحتوى البروتينى وفقدان تدريجى لحمض ح . د . ن (D.N.A) ، وهذا يدل على أن عملية تحلل البروتينات فى الخلية تتم أولا ثم بعد ذلك تبدأ انزيمات النواة نشاطها وتقوم بتحليل جزيئات الحامض النووى . كما تفقد النواة قدرتها على الأصباغ ويصحب ذلك أو لا يصحبه تفتت للنواة .

وترجع تغيرات بعد الموت فى الخلية لنشاط الإنزيمات داخل الخلية نفسها والتي تبدأ عملها بعد موت الخلية . وتعمل هذه الإنزيمات الميتة على تحلل الجزيئات الكبيرة وخصوصا جزيئات المواد البروتينية . وفى نفس الوقت فإن النقص فى الأكسجين يساعد على التخمر اللاهوائى وإنتاج عدد من الأحماض وخاصة حامض اللاكتيك Lactic acid . ويزيد تجمع الجزيئات الصغيرة والأيونات الناتجة من عملية التحليل هذه من امتصاص الماء مما يؤدي إلى انتفاخ الخلية ولقد وجد أن التجلط الغير عكسى " اللاعكسى " للبروتوبلازم يعتبر أحد مظاهر " ما بعد الموت " التى كثيرا ما يتبعها هضم وانتفاخ وسيولة الخلية .

## REFERENCES

- Afzelius, B., 1959 : J. Biophys. Biochem. Cytol., 5, p. 269.
- Allen, R.D., 1968 : Cell Biol., 37, p. 825.
- Ambrose, E.J. and Dorothy. M.E., 1981 : Cell Biology. Nelson and Sons., Ltd., London.
- Aykroyd, O.E. and Gatenby, J.B., 1941 : Quart. J. Micr. Sci., 82, p. 541 .
- Baker, J.R., 1944 : Ibid., 85, p. 1.
- ----- 1949 : Ibid., 90, p. 293.
- ----- 1963 : J. Roy. Micr, Soc., 82, p. 145.
- Balbiani, E.G., 1881 : Zool. Anz., 4, p. 637.
- Banhawy, M.A., 1964 : Proc. Zool. Soc. (ARE), 2, p.1.
- ----- 1974 : Proc. Symp., Beirut, Lebanon, march. p. 113.
- ----- 1981 : Egypt. J. Physiol. Sci. BCA : 67-72.
- ----- 1986 : The XI<sup>th</sup> Int. Conf. Electron Microscopy, Japan.
- Banhawy, M. A. and Al-Husaini, A., 1985, J. Arid Envir (London), 81 ++ 173 - 181
- Banhawy, M.A. and Anwar, I. M. 1970. Proc. Egy. Accd. Sci., 23 : 189.
- Banhawy, M. A. and Fares, N., 1977. J. Reprod. & Fert., 51.
- -----, 1987 Amer. J. Anat, 179: 277-284.
- Banhawy, M. A. and Ganzuri, M. A., 1980. Proc. Egypt. Soc. Env. Sci : 41-54.

- -----, 1984 . Biologic (Pakistan) 30 (2) : 177-181.
- ----- and Khattab, F.I. 1972, Proc. Zool Soc., 4 : 347 .
- Barr, M.L. and Bertram, E.G., 1949 : Nature 163, p. 676.
- Beams, H.W., 1931 : Anat. Rec., 49, p. 309.
- Beams, H.W., and King, R.L., 1934 : Ibid., 59, p. 363.
- Beams, H.W., von Breemen, V.L., Newfang. D.M. and Evans, T.C., 1952 : J. Comp, Neur., 96. p. 249.
- Beams, H.W., and Tahmisian. T.N., 1953 : Cytologia, 18, p. 157.
- Bourne, G., 1951 : Cytology and Cell physiology, Clarendon Press. Oxford.
- Brachet, J. and Mirsky. A.E., eds. (1959-1961) : The Cell , 5 volumes. Academic Press, Inc., New York.
- Bridges. C. B, 1934 : Am. Nat. 69. p. 50.
- Brown. R.H.J., 1936 : Quart. J. Micr. Sci., 79, p. 73.
- Burgos. M.H. and Fawcett, D.W., 1955 : J. Biophys, Biochem. Cytol., I,P. 4 .
- Burke, J.D. 1970 : Cell Biology. Scientific Book Agency : Calcutta.
- Cajal, S.R., 1914 : Trab. Lab. Inv. Bilo., 12,p. 127.
- Caspersson T.O., 1950 : Cell Growth and Cell Function. A Cytochemical study. New York W.W. Norton and Co., New York.
- Casselman, W.G.B., 1951 : J. Exper. Med., 94; p. 549.
- Chopra, H.W., 1960 : Nature, 187, p, 73.

- Chouinard. L. A., 1969 : Cell Biol and cytopharmacol, venise, July 7-11.
- Cleveland, L.R., 1953 : Tr. Am. Phil. Soc., New Series, 43. p. 809.
- Coveil, W.P. and Scott, G.H., 1928 : Anat, Rec., 38, kp. 377.
- Cramer, W. and Ludford, R.J. 1925 : J.Physiol., 60, p. 342 .
- Cowdry, E.V., 1932 : Special Cytology , New York.
- Dalton, A. J. and Felix, M.D., 1953 : Am. J. Anat. 92. p. 277.
- ----- : 1954 : Ibid., 94, p. 171.
- ----- : 1956 : J. Biophys. Biochem. Cytol. 78, p. 1
- Danielli, J.F., 1954 : Colston papers, 7. p.1.
- 
- Darlington, C. D., 1937 : Recent Advances in Cytology. J. and A. Churchill, London.
- Derobertis, E.D., 1987. " Cell and Molecular Biology" Lee adn Febriger comp., Philadelivia.
- Dingle, J.T., 1972 : "Lysosomes" Holland Pub. Comp. Amestrdam..
- Dobzhansky. T., 1947 : Génetics and the Origin of Species, Colombia University Press, Nwe York.
- De Duve, C., 1959 : Exp. cell Res. Suppl., 7, p. 160 .
- De Duve, C., Pressman. B.C., Gianetto. R., Wattiaux R. and Applemans, F., 1955 : Biochem. j., 60, p. 604.
- El-Beih, Z.M., 1967 : Ph.D thesis. Cairo University.
- -----, 1974 : Bull. Fac. Sci. Cairo Univ., 45 p. 1.



- Fawcett. D.W., 1967 : The Cell Saunders Company, Philadelphia and London.
- Fawcett, D.W. and Ito. S. 1965 : Am. J. Anst. 116, p.567.
- Ganzuri, M. A., 1975 : Ph.D. thesis. Ein Shams University.
- Gatenby, J. B., 1922 : Quart. J. Micr. Sci., 66, p. 295.
- -----, 1953 : J. Roy. Micr. Soc., 73, p.61.
- Gatenby, J.B. and Beams, H.W., 1950 : The Microtometist's Vade Mecum. London (Churchill) .
- Gatenby, J.B. and Moussa. Tohamy. A., 1948 : Nature 162, p. 736.
- ----- 1949 : La Cellule, 52 (1), p.13.
- ----- 1949 and 1950 : J. Roy. Micr., Soc. 69 (p. 185) and 70 (p. 342).
- Gatenby, J.B. Dalton. A.J. and Felix. M.D. 1955 : Nature 167, p.301 .
- Gresson, R. A. R., 1948 : Essentials of General Cytology Edinburgh, University Press.
- ----- 1950 : Quart. J. Mier, Soc., 91, p. 73.
- Haeitz E. and Bauer, H., 1933 : Zeits. Zellforsch. u. mikr. Anat., 17, p. 67.
- Ham. A. W., 1965 : Histology. Lippincott Company. Philadelphia and Montreal.
- Hirsch G., 1939 : Form and Stoffwechse der Golgi-Korper Protoplasma monograph. Berlin.
- Howell, S.H. and Moundrianakis. E.M., 1967 : Molec. Biol., 27, p. 323.

- Hyden, H., 1960 : The neurone. In The Cell, Vol. 4 p. 215 (Brachet and Mirsky, eds.) Academic press, New York.
- Ito. S., 1965 : Histochem Cytochem., 13, p. 75.
- Keeton, W.T., 1968 : Elements of Biological Science. Norton and Company Inc. New York.
- Khattab, F.I., 1961 : Ph.D. Thesis. Ein Shams University.
- -----, 1967 : Exptl. Neurol., 18. p.133.
- Khattab. F.I. and Riad N., 1976 : Ain shams Sci. Bull. (in Press).
- Kirkman. H. and Severinghaus. A.E., 1938 : Anat. Rec., 70 (p. 413, 557), 71 (p. 79).
- Koller, P.C. 1947 : Symp. Soc. Exper. Biol., 1, p. 270.
- Kurtz, S.M. 1964 : Electron Microscopic Anatomy Academic Press. New York and London.
- Lacy, D., 1954 : J. Roy. Micr. Soc., 73, pp. 179 and 201.
- Leblond C.P. and Walker B.E. 1956 : Physiol. Rev., 36, p. 255.
- Lehninger, A.L., 1962 : Physiol. Rev., 42, p. 3, 467.
- Lehninger, A.L., 1964 : The Mitochondrion. W.A. Benjamin, Inc., New York.
- Lewis, W.H., 1931 : Bull. Johns Hopkins Hosp., 49, p. 17.
- Mazia. D., 1954 : Proc. Nat. Acad. Sc. 40, p. 521.
- Menke. W., 1962 : Ann. Rev., Plant physiol., 13, p. 27.
- Miller, O.L., Hamkalo, B.A, and Thomas C.A. 1970 : Science, 169, p. 392.
- Mollenhauer, H.H. and Whaley. W.G., 1963 : J. Cell Biol., 17, p. 223.

- Moussa, Tohamy, A., 1950 : J. Morph., 87, p. 27.
- Moussa. Tohamy A., 1952 : Am. J. Anat. 90. p. 379.
- -----, 1956 : La Cellule, 57 (3) p. 319.
- -----, 1961 : Ann. Zool. 3 (12) p. 161.
- Moussa, Tohamy A. and Banhawy. M., 1955 : J. Roy. Micr. Soc. 74 p. 162.
- -----, 1959 : Ann. Zool., 3 (4), p. 43.
- -----, 1960 : J. Roy Micr. Soc., 79, p. 19.
- -----, 1962: Ann. Zool., 4 (2), p. 13.
- -----, and El-Beih, Z.M., 1976 : Ain Shams Sci. Bull. (in press).
- Moussa, Tohamy A. and El-Beih, Z.M. 1970 : Ann. Zool. 6 (2) p. 59.
- -----, 1972 : La Cellule, 69 (2). p. 191.
- -----, 1976 : Ibid. (in press).
- Moussa, Tohamy A. and Gatenby., J.B., 1950 : Le Cellule, 53 (3), p. 269.
- Moussa, Tohamy A. and Khattab. F.I., 1957 : Ibid., 58 (3) p. 273.
- -----, 1961 : Bull Sci. Tech. 4, p. 105.
- -----, 1963 : Ibid., 6, p. 121.
- -----, 1964 : Ibid., pp. 111, 121.
- Mühiethaler. K., 1961 : Plant cell walls. In : The Cell. Vol., 2 p. 85 (Brachet and Mirsky, eds) Academic press, New York.
- Murray, M. and Stout. A., 1947 : Am. J, Anat. 80, p. 225.

- Nicholson, J.L., 1972. Quoted from Keeton, Norton Comp. (1972)
- Novikoff, A.B., 1961 : In "The Cell" Vol. 2 (Brachet and Mirsky eds.)
- Novikoff, A.B. and Holtzman, E., 1986 : Cells and Organelles. Holt / Rinehart / Winston. Inc., New York, Chicago, London, Sydney.
- Nowinski, W.W., 1934 : Publ. Staz Zool., Napoli, 14, p. 224.
- Painter, T.S., 1939 : Am. Nat., 78, p. 315.
- Palay, S.L., 1958 : The Morphology of secretion. In "Frontiers in Cytology" Yale University Press, New Haven.
- Parat, M., 1924 : C.R. Acad. Sci., Paris. 179, p. 543.
- Porter, K.R., 1954 : In "Dynamics of Growth Processes" Princeton University Press.
- -----, 1961 : J. Biophys Biochem. Cytol., 10, Suppl. 219.
- -----, 1966, In "Principles of Biomolecular Organization". p. 308. J. and A. Churchill, London.
- De Robertis. E.D.P., Saez, F.A. and De Robertis, E.M.F., 1975 : Cell Biology, Saunders Company, Philadelphia. London, Toronto.
- De Robertis, E. and Sabatini, D.D, 1960 : Fed. Proc., 19, p. 70.
- Robertson, J.D., 1959 : Biochem. Soc. Symp. 16, p. 3.
- Robertson, J.D., 1960 : prog. Biophys. Chem., 10, p.343.
- Roskin, G.U., 1945 : Rep. Acad. Sci., 41, p. 296.
- Rothestein, A., 1954 : Protoplasmatologia, 2, 4.
- Saez, F.A., Rojas, P, and De Robertis E., 1936 : Ztscher. Zell Mkr. Anat., 24, p. 2727.
- Schrader, F., 1944 : Mitosis. Columbia University Press, New York.



- Sharp. J.W., 1943 : Fundamentals of Cytology. McGraw-Hill, New York and London.
- Sinnott, E.W. and Dunn, L., 1939 : Principles of Genetics McGraw-Hill, New York and London.
- Sjöstrand, F.G., 1953: Nature, 171. p. 30.
- -----, 1956 : Internat. Rev. Cytol., 5, p. 456.
- -----, 1967 : Electron microscopy of cells and Tissues Academic Press, New York.
- Stedman. E. and Stedman, E., 1943 : Nature, 152, p. 267.
- Strechler, B.L., 1962 : Time, Cells, and Ageing, Academic Press, New York and London.
- Sulkin, N. and Kuntz A., 1948 : Anat. Rec., 101, p. 33.
- Tandler, C.J. and Sirlin, J.L., 1962 : Biochem. Biophys. Acta, 53. p. 228.
- Thomas, O.W., 1948 : Quart. J. Micr. Sci., 89, p. 333.
- Thorpe, N., 1987. "Cell Biology", John Wiley & Sons Comp.
- Threadgold, L.T., 1987: The Ultrastructure of the Animal Cell. Pergamon Press, Oxford, London, New York, Paris.
- Toner, P.G. and Carr, K.E., 1971 : Cell structure Churchill Livingstone, Edinburgh and London.
- Wettstein, D., 1959 : Ultrastruct, Res,mm 3, p. 235.
- White. M.G.D., 1935 : Proc. Roy. Soc. B. 119, p. 61.
- -----, 1945 : Animal Cytology and Evolution, Cambridge University Press.
- -----, 1961 : The Chromosomes. London (Methuen).
- Whiting. P.W., 1945 : Quart. Rev. Biol., 20, p. 231.
- Young. R.W. 1973 : Cell Biol., 57, p. 175.

رقم الإيداع	١٩٩٩/٤٥٦٨
الترقيم الدولي	ISBN 977-02-5783-4

١/٩٩/٢

طبع بمطابع دار المعارف ( ج . م . ع . )









دارالمعارف

۱۱۳۷۹۹/۰۲

